

**МИННО – ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ  
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“**

**МИННО - ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ**

инж. Асен Драгомиров Стоянов

**ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ГРАНИЦАТА НА ОГНЕУСТОЙЧИВОСТ НА  
ДЪРВЕНА ПОДОВА КОНСТРУКЦИЯ В УСЛОВИЯТА НА СТАНДАРТНО  
ОГНЕВО ВЪЗДЕЙСТВИЕ И ХУМАНИЯ РИСК ОТ ПРОДУКТИТЕ НА  
ГОРЕНЕТО**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на

**ДИСЕРТАЦИЯ**

**за ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН**

**„ДОКТОР“**

**Професионално направление „Архитектура, строителство и геодезия“ шифър  
5.7.**

**Научна специалност „Техника на безопасност на труда и противопожарна  
техника“, шифър 02.19.01**

**НАУЧНИ КОНСУЛТАНТИ:** проф. д-р инж. Михаил Атанасов Михайлов  
доц. д-р инж. Иван Тодоров Тодоров

**Рецензенти:**

- 1.
- 2.

**София, 2013**

Дисертационният труд е обсъден на заседание на Разширен катедрен съвет на катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ (Протокол № 5 от 01/07/2013г.) и е насочен за публична защита пред Научно жури.

Дисертацията е разработена в катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“. Експерименталните изследвания са проведени в: лабораторията по „Пожароустойчивост“ на факултет „Пожарна безопасност и защита на населението“ при Академия на МВР, “Научно приложния институт по пожарна безопасност и спасяване – МВР” и Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“.

Докторантът работи, като преподавател към катедра „Техническа механика“ на МГУ.

Защита на дисертационния труд ще се състои на \_\_\_\_\_ в Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, Миннотехнологичен факултет, зала №....., от ..... часа на заседание на Научно жури, назначено със Заповед № \_\_\_\_\_ на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“.

Материалите по дисертацията са на разположение на всички интересувачи се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, гр. София.

Автор: **Асен Драгомиров Стойнов**

**ЗАГЛАВИЕ: ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ГРАНИЦАТА НА ОГНЕУСТОЙЧИВОСТ НА ДЪРВЕНА ПОДОВА КОНСТРУКЦИЯ В УСЛОВИЯТА НА СТАНДАРТНО ОГНЕВО ВЪЗДЕЙСТВИЕ И ХУМАНИЯ РИСК ОТ ПРОДУКТИТЕ НА ГОРЕНЕТО**

Обем на дисертационния труд: 203 стр., 61 таблици, 66 формули, 154 фигури и 109 наименования на литературни източници.

Печат: 20 екз.

Издателска къща „Св. Иван Рилски“ при МГУ - София.

# С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>УВОД</b>                                                                                                             | 6  |
| <b>АКТУАЛНА ЗНАЧИМОСТ НА ПРОБЛЕМА</b>                                                                                   | 6  |
| <b>ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО</b>                                                                                     | 7  |
| <br><b>Г Л А В А    П Ъ Р В А    ПРОУЧВАНЕ НА ПРОБЛЕМИТЕ СВЪРЗАНИ С ПОЖАРНАТА</b>                                       |    |
| <b>БЕЗОПАСНОСТ НА ДЪРВЕНИ ПОДОВИ КОНСТРУКЦИИ</b>                                                                        |    |
| <b>В СЪВРЕМЕННАТА НАУКА И ПРАКТИКА</b>                                                                                  | 8  |
| <br>Раздел I Мястото на дървената къща в съвременното строително производство                                           | 8  |
| Раздел II Положителни и отрицателни свойства на дървесината като строителен материал                                    | 8  |
| Раздел III Начини за преодоляване недостатъците на дървесината                                                          | 9  |
| Раздел IV Подови конструкции                                                                                            | 9  |
| <i>I.4.1. Конструктивни особености, изисквания и решения при хоризонтални ДПК – строителни практики прилагани у нас</i> | 11 |
| <i>I.4.2. Съвременни строително–конструктивни системи при дървените сгради</i>                                          | 14 |
| Раздел V Строителната дървесина в условията на пожар                                                                    | 14 |
| <i>I.5.1. Пожарна характеристика на дървесината</i>                                                                     | 15 |
| <i>I.5.1.1. Запалимост</i>                                                                                              | 15 |
| <i>I.5.1.2. Отделяне на топлина и разрастване на пожара</i>                                                             | 15 |
| <i>I.5.2. Пожарна опасност на дървесината и мерки за нейната редукция</i>                                               | 16 |
| <i>I.5.3. Пасивени мерки за ограничаване разпространяването на пожара</i>                                               | 16 |
| <i>I.5.3.1. Архитектурно-обемнопланировъчни мерки</i>                                                                   | 16 |
| <i>I.5.3.2. Конструктивни мерки за противодействие на пожара</i>                                                        | 16 |
| Раздел VI Пасивен контрол над вътрешния пожар                                                                           | 17 |
| <i>I.6.1. Реакция на огън</i>                                                                                           | 17 |
| <i>I.6.2. Огнеустойчивост</i>                                                                                           | 18 |
| <i>I.6.2.1. Граница на огнеустойчивост</i>                                                                              | 18 |

|                                                                                                                                                                                                                                                      |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Раздел VII Пожарни криви (време/температурни криви)                                                                                                                                                                                                  | 21     |
| <i>I.7.1. Целулозна – известна още като пожарна крива от категория „А”</i>                                                                                                                                                                           | 22     |
| Раздел VIII Определяне на термодинамичните периоди на самозапалване на борова и дъбова дървесина                                                                                                                                                     | 22     |
| Раздел IX Димообразуване                                                                                                                                                                                                                             | 23     |
| <i>I.9.1.Образуване частиците на дима</i>                                                                                                                                                                                                            | 24     |
| <i>I.9.2. Измерване параметрите на дима, образуван от твърди частици</i>                                                                                                                                                                             | 25     |
| Раздел X Определяне на видимостта                                                                                                                                                                                                                    | 26     |
| Раздел XI Токсичността на продуктите от тлеене на борова и дъбова дървесин                                                                                                                                                                           | 28     |
| Раздел XII Мерки за активен контрол над възникнал пожар                                                                                                                                                                                              | 31     |
| Раздел XIII Поразяващи фактори на дима                                                                                                                                                                                                               | 31     |
| Раздел XIV Димозащита                                                                                                                                                                                                                                | 31     |
| Раздел XV Изводи от глава първа                                                                                                                                                                                                                      | 31     |
| <br><b>Г Л А В А   В Т О Р А   П Р О Е К Т И Р А Н Е   Н А   Д П К   З А   О Ф И С</b>                                                                                                                                                               | <br>33 |
| Раздел I Якостно–деформационна проверка за избраната ДПК - по I и II група гранични условия                                                                                                                                                          | 34     |
| Раздел II Категоризация на избраната ДПК според показателя „R”                                                                                                                                                                                       | 37     |
| Раздел III Европейски стандарти EN 1995-1-2-2004, EN 1995-1-1-2004 и EN 338                                                                                                                                                                          | 38     |
| Раздел IV Изводи от глава втора                                                                                                                                                                                                                      | 43     |
| <br><b>Г Л А В А   Т Р Е Т А   Е К С П Е Р И М Е Н Т А Л Н О   О П Р Е Д Е Л Я Н Е   Г Р А Н И Ц А Т А   Н А   О Г Н Е У С Т О Й Ч И В О С Т   Н А   Д П К   И   И З Г О Т В Я Н Е   М Е Т О Д И К А   З А   Н Е Й Н О Т О   О П Р Е Д Е Л Я Н Е</b> | <br>44 |
| Раздел I Опитни образци                                                                                                                                                                                                                              | 44     |
| <i>III.1.1. Изготвяне на натурни опитни образци</i>                                                                                                                                                                                                  | 44     |
| <i>III.1.2. Определяне опитното натоварване за НО №1 и №2 и подготовката им за провеждане на експеримента</i>                                                                                                                                        | 45     |
| <i>III.1.3. Пакети от върхната конструкция и тяхната подготовка за експеримента</i>                                                                                                                                                                  | 46     |
| <i>III.1.4. Разполагане на термоелементи за отчитане изменението на</i>                                                                                                                                                                              |        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <i>температурата</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 46     |
| <i>III.1.4.1. Разположение на термоелементите в натурните образци</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 46     |
| <i>III.1.4.2. Разположение на термоелементите в печта</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 46     |
| <i>III.1.4.3. Разположение на термоелементите в пакетите от върхната конструкция</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 47     |
| Раздел II Измервани показатели                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 47     |
| Раздел III Резултати, получени от изследването и техният анализ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 47     |
| Раздел IV Методика за определяне границата на огнеустойчивост на ДПК                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 50     |
| Раздел V Изводи от глава трета                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 52     |
| <br><b>Г Л А В А   Ч Е Т В Ъ Р Т А   Е К С П Е Р И М Е Н Т А Л Н О   О П Р Е Д Е Л Я Н Е   Т Е М П Е Р А Т У Р А Т А   Н А   С А М О З А П А Л В А Н Е   Н А   Б О Р О В А   И   Д Ъ Б О В А   Д Ъ Р В Е С И Н А ,   Д И М О О Б Р А З У В А Щ А Т А   И М   С П О С О Б Н О С Т   И   О Ц Е Н К А   Н А   Т О К С И Ч Н О С Т Т А   Н А   П Р О Д У К Т И Т Е   О Т Д Е Л Я Н И   П Р И   Т Я Х Н О Т О   Т Л Е Е Н Е</b> | <br>54 |
| Раздел I Определяне на термодинамичните периоди на самозапалване на борова и дъбова дървесина                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 54     |
| Раздел II Определяне на димообразуващата способност на борова и дъбова дървесина                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 56     |
| Раздел III Оценка за токсичността на продуктите отделяни при тлеене на борова и дъбова дървесина                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 60     |
| Раздел IV Димозащита                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 63     |
| Раздел V Изводи от глава четвърта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 63     |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 65     |
| <b>ПРИНОСИ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 67     |
| <b>НАУЧНИ НОВОСТИ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 67     |
| <b>ОСНОВНИ ПРАКТИЧЕСКИ РЕЗУЛТАТИ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 68     |
| <b>ПЕРСПЕКТИВИ ЗА БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 68     |
| <b>ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 69     |

## У В О Д

Явлението „пожар“ е вероятностно събитие, което може да има различни форми на проявление, въпреки че всички те в крайна сметка се свеждат до протичането на химическа реакция между горивото и кислорода от въздуха с отделяне на топлина и светлина. Правилното използване на тази реакция носи огромна полза като източник на енергия и топлина за нуждите на промишлеността и бита, но когато тя е неконтролирана може да доведе до човешки жертви и материални загуби.

На земята годишно се регистрират от 5 до 7 милиона пожара, при които загиват 50000 до 60000 човека, а в Европа жертвите от пожар са между 10 и 20 души на един милион от населението и материалните щети възлизат на 1% от брутния продукт.

Проектирането на сгради за пожарно състояние се базира на принципа за съответствие между съпротивляемостта на конструкцията на сградата и възможното ниво на въздействие.

**Конструкциите трябва да имат адекватна носеща способност, да ограничават разпространението на пожара и дима и да осигуряват необходимата видимост и безопасна концентрация на газовите продукти на горенето по евакуационните пътища.**

При оразмеряване на строителните конструкции се отчитат механичните натоварвания и въздействия при нормални условия на експлоатация.

При пожар възникват допълнителни температурни натоварвания и въздействия, които могат да доведат до излизане от строя на отделни елементи от конструкцията, или да доведат до разрушаване на цялата сграда.

Въпреки инвестираните средства, възлизащи на милиони за превенция, пожарите остават неизменен спътник на човешкото развитие. Замяната на някои горими материали се компенсира от нови - например пластмаси като конструктивни елементи в бита (пластмасовата дограма и др.). Независимо от това е необходимо да се използват достиженията на техническия прогрес за редуциране на пагубния ефект на огъня. Внедряването им на етап строително-конструктивно проектиране за пожарно състояние на сградите е важно за нивото на развитие на нормативната база и за привличането на чужди инвестиции в страната.

## АКТУАЛНОСТ И ЗНАЧИМОСТ НА ПРОБЛЕМА

Дървесината е един популярен и традиционен строителен материал. Тя обаче, се отнася към силно горими и лесно запалими строителни материали, което налага противопожарното обезпечаване както на новото, така и на старото строителство (ремонти и реставрации).

У нас все още не се извършват задълбочени изследвания върху незащитени мембранообразни дървени носещи конструкции в условия на пожар. Тази ситуация може да се промени чрез провеждане на тестови изпитвания по определяне границата на огнеустойчивост на различни дървени структури, като подови и подпокривни конструкции. Например опитното определяне на границата на огнеустойчивост на натурни модели от дървени подови конструкции (ДПК), а не само на отделни носещи елементи (греди), очертава реалистична картина за поведението на този важен елемент от сградата като цяло в условия на пожар. Актуалността се заключава във факта, че до момента у нас няма проведени експерименти в тази насока.

Загубите при пожар на материални ценности имат своите икономически измерения, но несъизмерими с тях от хуманна гледна точка са човешките жертви, които се дават от цивилното население или от огнеборческите команди.

Следва да се отбележи, че в скрити конструкции, например обзидани с тухли дървени греди в близост до димоотводни канали (комини) е възможно самозапалване на дървесината, т.е. горене на дървесина вследствие на нейното самонагриване (при отсъствие на висока температура на средата обкръжаваща дървената конструкция).

Уточняването на температурата на samozапалване на дървесината е от актуално значение, като намаляването на риска от samozапалване е в пряка зависимост с нейното безопасно конструктивно използване.

Експерименталното определяне на димообразуващата способност на дървесината и свързаната с нея видимост (особено важна при евакуация), както и на токсичните газове отделяни при пожар са от изключително важно значение за спасяване на бетстващите.

## ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Във връзка с актуалността на работата в планове на Минно-Технологичния Факултет – Катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“, беше заложена тема с главна цел – „Определяне на границата на огнеустойчивост на дървена подова конструкция в условията на стандартно огнево въздействие и хуманния риск от продуктите на горенето“.

За постигане на целта бяха формулирани четири основни задачи.

### 1) Проектиране на дървена подова конструкция.

Проектирането да бъде съобразено с нормативните документи [11, 55, 56 и 57]. Използваният боров материал за всички дървени елементи, да бъде от втора категория дървесина.

За топло-звукоизолацията на ДПК, да се използва минерална вата като се осигури нужното пространство за естествена вентилация на конструкцията.

### 2) Провеждане на теоретико-експериментално изследване за определяне на границата на огнеустойчивост на ДПК.

Теоретичното изследване да бъде проведено по:

- българската методика;
- двата нормирани инженерни подхода – „метод на намаленото напречно сечение“ и „метод на редуцираните характеристики“ съгласно EN 1995-1-2, EN 1995-1-1 и EN 338.

Експерименталните изследвания да бъдат проведени с:

- два натурни образца представляващи част от ДПК, изпълнени в мащаб 1:1 – три греди с връхна конструкция (ВК);
- три пакета - (под пакет да се разбира част от ВК на ДПК).

Експериментите да бъдат съобразени с нормативните документи [60 и 61].

### 3) Провеждане на експерименти за определяне термодинамичните периоди на samozапалване на борова и дъбова дървесина. Обработка на получените резултати и определяне на $T_E$ (температура на началото на екзотермичното разлагане) и $T_{cr}$ (температура на samozапалване).

В близкото минало у нас, в скатните покриви се използват дъбови носещи греди. Пожарната им опасност налага изследването да обхваща освен борова и дъбова дървесина.

### 4) Провеждане на експерименти за определяне димообразуващата способност на борова и дъбова дървесина при тлеене и при тези условия отчитане на отделените количества $CO$ и $CO_2$ . Обработка на получените резултати и оценка токсичността на отделяните продукти.

## Г Л А В А П Ъ Р В А

### ПРОУЧВАНЕ НА ПРОБЛЕМИТЕ СВЪРЗАНИ С ПОЖАРНАТА БЕЗОПАСНОСТ НА ДЪРВЕНИ ПОДОВИ КОНСТРУКЦИИ В СЪВРЕМЕННАТА НАУКА И ПРАКТИКА

#### Раздел I

##### **Мястото на дървената къща в съвременното строително производство**

В ретроспективен план, дървената къща в България има своя типичен представител в „лицето“ на родопската дървена къща. Нейните стени са изпълнени от цели, понякога необелени трупи и е покрита с дъски. При изграждането на стените, гредите се поставят хоризонтално една над друга, като в краищата се преплитат и врязват в гредите на другата стена. Къщите с дървено-дъсчен блоков градеж (наричан още талпен) са разпространени предимно в Стара планина и Странджа.

Днес, като се има предвид: урбанистичната тенденция, желанието на градския жител да живее хармонично с природата, бързото (еднофамилна панелна дървена къща се изпълнява до ключ за около 1 ден), екологично строителство и не на последно място атрактивната цена за дървена къща (у нас за около 500 лв/м<sup>2</sup> до ключ без ДДС), то използването на дървесината за конструктивни цели се явява алтернатива на масивното строителство.

В България се произвеждат сглобяеми дървени къщи, които отговарят на европейските стандарти.

Фирмите производителки у нас са: „Бял Бор“ АД Брацигово, „Сал Трейд ЕООД“, „НОРТОП ООД“ и др.

#### Раздел II

##### **Положителни и отрицателни свойства на дървесината**

###### **Положителни свойства.**

Дървесината притежава следните положителните качества: висока относителна якост, бързина на изграждане с употреба на обикновени инструменти, ниска цена и всесезонност на строителството, ниска енергоемкост и разход на труд при производството и строителството, добра перспектива за строителство на многоетажни дървени сгради, добре работи при динамично натоварване, както и в сеизмично активни зони, добър топлоизолатор е и притежава нисък коефициент на температурно разширение, добър терморегулатор на микроклимата в помещението, подходящ материал за работа в агресивна химична среда.

###### **Отрицателни свойства на дървесината.**

Дървесината притежава следните отрицателни качества: нееднородност, естествени недостатъци, (вследствие на тях се понижава якостта, нарастват

деформациите, намалява се носимоспособността с течение на времето – реологични промени), повреди от гъби и насекоми, дефицитност, слаба звукоизолираност и пожарна опасност.

**Строителната дървесина е горим материал - съществен недостатък.**

### Раздел III

#### **Начини за преодоляване недостатъците на дървесината**

Съвременната наука и технологии предлагат успешни мерки за справяне с изброените недостатъци на естествената дървесина. Вече е възможно да се произведе дървен материал с предварително зададени свойства. Друг начин за подобряване качеството и носимоспособността на конструкцията е използване на лепени дървени греди (ЛДГ).

Съдържанието на вода в дървесината на елементи от строителната конструкция не трябва да е по-голямо от 20%. Дървените конструкции се изпълняват от въздушно-сух материал, а контактните повърхности се обработват с антисептици и хидроизолират. Избягва се използването на дървесина в постоянно влажна среда, а за затворените пространства, се осигурява естествена вентилация.

На етап проектен е необходимо да се вземат предвид очакваните честотни въздействия, така че да не предизвикват вибрация нарушаваща работата на конструкцията или дискомфорт за обитателите.

### Раздел IV

#### **Подови конструкции**

Подовата конструкция (ПК) се явява основен елемент от сградата като цяло.

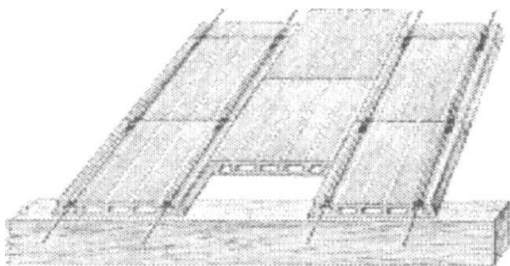
В зависимост от материала на носещите си елементи, ПК са масивни, метални и дървени, а по отношение на формата и начинът си на изпълнение, те се категоризират като сводови подови конструкции (СПК) и хоризонтални подови конструкции (ХПК).

Обект на изследването ще бъдат хоризонталните ДПК.

#### *Хоризонтални ДПК*

Хоризонталните подови конструкции са изградени, както само от дървесина така и от комбинацията на дървесина, стомана, стоманобетон, керамика, гипсофазер и други материали. При ХПК отпада необходимостта от използването на специални кофражни форми (необходими за СПК). Те конкурират СПК с: по-малката си конструктивна височина, технологична простота, по-ниското си тегло, по-бързото си изпълнение и съответно са по-евтини. При тях има условия за реализация на добра противопожарна защита и топло/звукоизолация. Всичко това допринася за масовото приложение на тези конструкции в практиката.

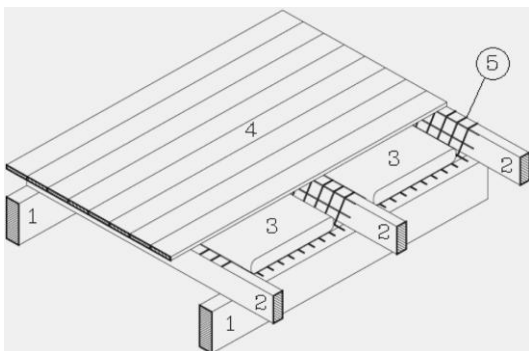
На фиг. I.1. е показана ХПК изпълнена в Италия през двадесетте години на миналия век [40].



Фигура I.1.

ХПК изпълнена от армирани плоски тухли (табели) с открити дървени носещи греди

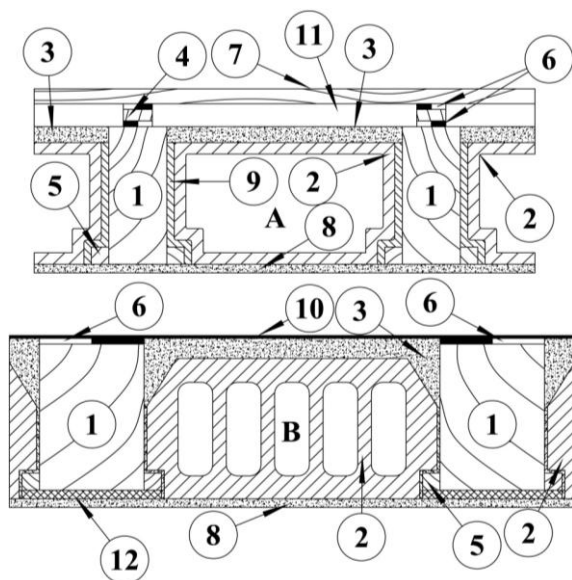
В някои страни (като Австралия), с целогодишни високи температури се използват леки ДПК фиг. I.2. [52].



Фигура I.2. Лека дървена подова конструкция

- 1) носещи дървени греди;
- 2) напречни греди;
- 3) лека топлоизолация;
- 4) дюшеме;
- 5) мрежа носеща изолацията;

За разлика от фигури I.1. и I.2., при двата варианта на ХПК показани на Фиг. I.3., носещите дървени греди са добре защитени от прякото огнево въздействие при пожар (подовите конструкции са изпълнени в Германия през средата на миналия век).



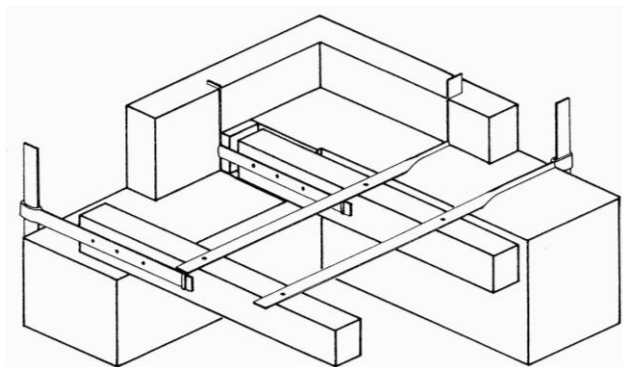
Фигура I.3.

А.–ХПК с пълнеж от кухотели керамични тела;

В – ХПК с пълнеж от тухли;

- 1) дървена носеща греди;
- 2) керамично тяло;
- 3) цименто/пясъчен разтвор;
- 4) дървена летва; 5) летва 3/5 ст;
- 6) хидро – паро изолация; 7) дюшеме;
- 8) мазилка по таван;
- 9) пластичен материал глина или болкид;
- 10) линолеум;
- 11) вентилационно пространство;
- 12) обкована греди с поцинкована мрежа;

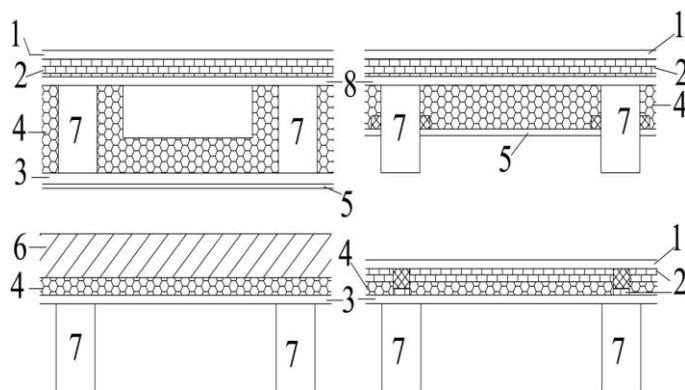
В страни с умереноконтинентален климат (преобладават ниски средни температури), се комбинира зидария от газобетонни блокове с ДПК фиг. I.4. (свързване на стени иззидани от газобетонни тухли с дървени греди – Германия) [53].



Фигура 1.4.

Равнинно укрепване в две посоки на зидарията от газобетонни тухли с дървени греди и котви

На фиг.1.5. са показани няколко леки ДПК изпълнени от съвременни материали в Германия, (показан е вариант осигуряващ добра звукоизолация посредством стоманобетонна плоча) [53].



Фигура 1.5. Съвременни ХПК

- 1) подова настилка;
- 2) еластична звукоизолация;
- 3) „черно“ дюшеме;
- 4) топлоизолация;
- 5) обшивка или мазилка;
- 6) звукоизолираща стоманобетонна плоча;
- 7) носещи дървени греди;
- 8) ПДЧ;

#### 1.4.1. Конструктивни особености, изисквания и решения при хоризонтални ДПК – строителни практики прилагани у нас

Дървените подови конструкции се изпълняват над и под проветриви помещения, в които няма условия за образуване на конденз от изпарения.

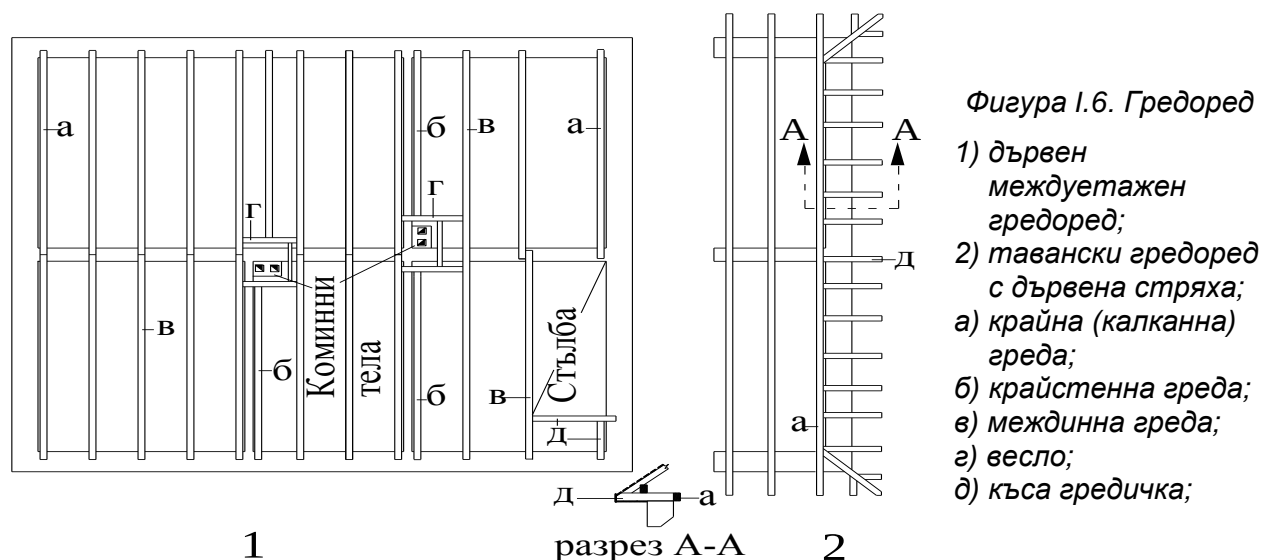
В конструктивно отношение ДПК се състои от следните елементи:

- гредоред;
- междинен (черен) под – каратаван;
- обшивка или мазилка по таван;
- дървен под, подова настилка.

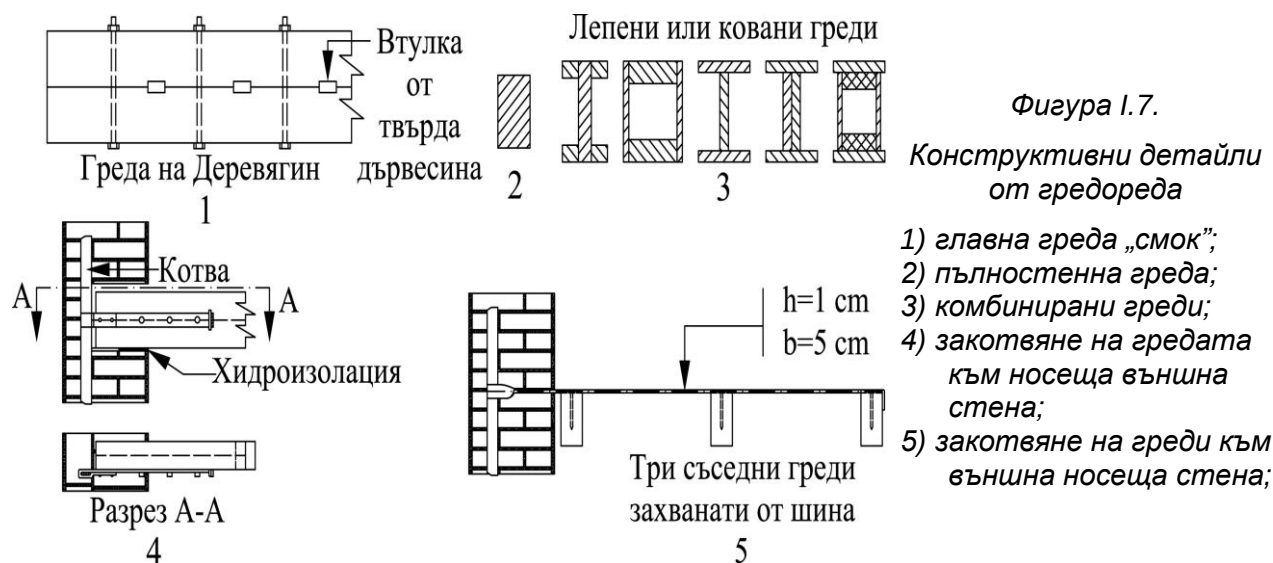
#### Дървен гредоред (ДГ)

Според функционалното си предназначение, ДГ бива три вида фиг.1.6.:

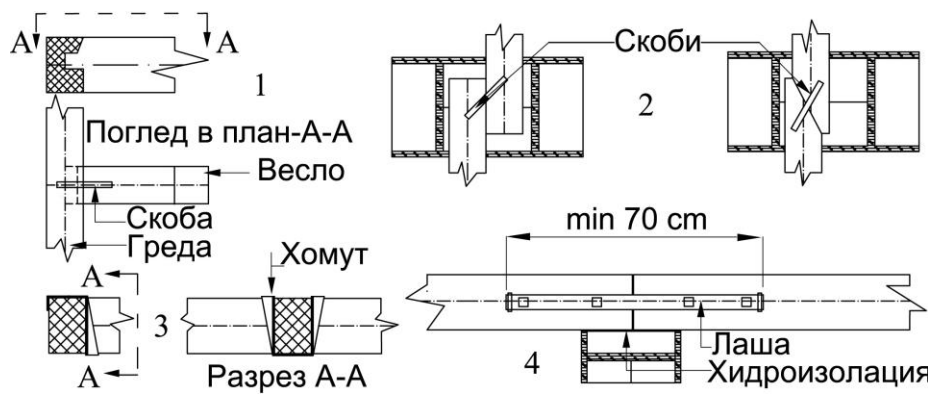
- междуетажен-отделя етажите един от друг фиг.1.6.1.;
- тавански, който е над последния етаж фиг.1.6.2.;
- малък – съставен от малки греди и се изгражда над таванските жилища.



При междуетажният гредоред осовите разстояния между гредите обикновено варира в границите  $60 \div 80$  cm [5]. Гредите се поставят в направление по ширината на сградата, с което се гарантира по-добрата връзка между надлъжните стени, като свободното подпорно разстояние не бива да надвишава 6 m. Ако последното е невъзможно, то се използват главни греди – „смокове“ фиг.1.7.1. [5].



Чрез гредоредта се постига здраво свързване на противоположните външни стени, като за целта всяка четвърта греда се закотвя във външните стени посредством стоманени котви фиг.1.7.4. [5]. Свързването на калканните стени става също с котви, като хоризонталното парче плоска стомана обхваща три съседни греди фиг.1.7.5. [5]. Желателно е гредите да бъдат от едно парче, минаващо от едната външна надлъжна стена до другата, а когато това е невъзможно, се наставят чрез стоманени планки (лаши) фиг.1.8.4. или чрез скоби странично фиг.1.8.2. Дълбочината на лягане на гредата върху носеща стена е min 15 cm.

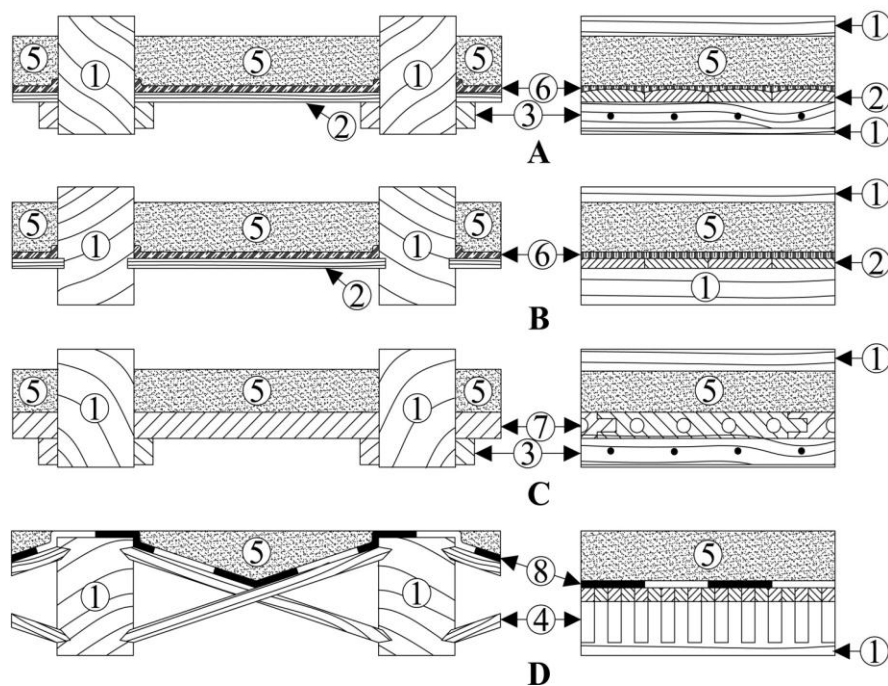


Фигура 1.8.  
Свързване на греди от  
гредоред

- 1) сглобка - греда и весло чрез „кулак“;
- 2) свързване със скоба над носеща стена;
- 3) свързване чрез стоманен хомут;
- 4) свързване с лаши над носеща стена;

### Междинен под - каратаван

Междинният под увеличава топлинната и звуковата изолация на ДПК, а освен това я обезпечава и в противопожарно отношение. Те се изпълняват от нерендосани дъски с дебелини  $2 \div 2,5$  cm или капази 3 cm, лежащи върху надлъжно заковани към гредите летви, или се вмъкват в предварително изготвени в гредите глъбове (каналы) фиг.1.9.В.



Фигура 1.9.  
Междинен (черен) под –  
напречен и надлъжен  
разрез

- 1) носеща дървена греда;
- 2) дъски или капази;
- 3) летви с дебелина  $2,5/4 \text{ } 3/4 \text{ cm}$ ;
- 4) летви със заострени краища;
- 5) сгурия или пясък;
- 6) пласт от глина;
- 7) леки гипсови панели;

### Същински таван

Във височина таванът се явява най-ниският елемент от подовата конструкция. За да бъде измазан под гредоред се наковават летви с напречни размери  $1,5/2,5$  cm с трапецовидна форма за задържане на мазилката. Разстоянието между летвите е  $1,2/1,5$  cm и под тях се наковава поцинкована мрежа - отново за задържане на мазилката, подходяща мярка в противопожарно отношение.

### *Под, подова настилка*

Подовите настилки трябва да са: трудно горими, изготвени от екологични изходни суровини, с добри звукоизолационни качества, с добра изнosoустойчивост и да са лесни за поддръжка.

#### *1.4.2. Съвременни строително–конструктивни системи при дървените сгради*

Тенденциите за развитие на строителството от дърво са насочени в четири направления [4]:

- конструкции изготвени поелементно – от греди, колони и обшивки;
- сглобяеми конструкции изпълнени от леки панели;
- сглобяеми конструкции изпълнени от модули;
- сглобяеми конструкции изпълнени от големи панели. Всички те са разгледани в дисертационният труд

В дисертацията са разгледани: лепените дървени греди, опорните устройства, композиционните решения (дърво/тухла-бетонни подови конструкции – решен е пример) и лепените дървени армирани греди от системата „ARMALAM”.

## **Раздел V**

### **Строителната дървесина в условията на пожар**

В следващото изложение комплексно са разгледани проблемите свързани с поведението на дървесината в условията на огнево въздействие:

- пожарната характеристика на дървесината;
- пожарната опасност на дървесината и мерки за нейната редукция;
- пасивените мерки за ограничаване разпространяването на пожара;
- пасивният контрол над вътрешния пожар;
- термодинамичните периоди на самозапалване на дървесината (борова и дъбова);
- димообразуването;
- определянето на видимостта по задимените евакуационни пътища;
- токсичността на продуктите от тлеене на дървесина (борова и дъбова);
- мерките за активен контрол над възникнал пожар;
- димозащитата.

#### *1.5.1. Пожарна характеристика на дървесината*

Свойствата за реакция на огън на дървесината, като запалимост, отделяне на топлина и разпространение на пламъка са с най-голямо приложение за забавяне на пожарните продукти на дървесината.

#### *1.5.1.1. Запалимост*

Дървесината може да се запали, когато нейната температура стане толкова висока, че пиролизата започне да протича достатъчно силно и химичните реакции на горенето започнат. По тази причина запалването на дървесен продукт е в зависимост от начина на нагриване, който определя термичните свойства на материала и начинът на неговата топлинна атака [95].

Факторите въздействащи върху запалването на дървесината са:

- влажността – влагата повишава топлинната инертност на дървесината и загряването на водата и особено нейното изпаряване, консумират топлинна енергия [95];
- дебелината на елемента – тънките парченца от дърво се запалват по-лесно, отколкото дебели дънери;
- обемно тегло – леката дървесина се запалва по-бързо, отколкото тежката;
- интензивността на топлинната експозиция и нейната ефективност (например разстоянието от пламъците до повърхността) [95].

#### *1.5.1.2. Отделяне на топлина и разрастване на пожара*

Топлината отделяна при горенето е движещата сила на пожара – по-голямото отделяне на топлина от горящия обект, способства за по-лесното разпространяване на огъня.

Най-съществената характеристика описваща горенето на материалите се явява скоростта на отделяне на топлина, която се бележи с  $\dot{Q}$  и се измерва в kW или MW [95]. Скоростта на освобождаване на топлина е силно зависима от външни фактори и поради тази причина точни стойности за  $\dot{Q}$  при различни материали, не могат да бъдат дадени [95].

Скоростта на топлина на единица площ може да бъде измерена, с помощта на конус топломер, който описва горенето в добре проветрена околна среда (ранен стадий на пожар). Получените резултати описват отделянето на топлина от материалите, въпреки че те са до известна степен зависими от: нивото на повърхностно топлинно експониране при опита, свойствата на експонираната повърхност (за случай на дървесина - напр. строеж/посока на влакната, чепове и склонност към разрушаване) и дебелината на образца [95].

Когато дървения образец гори, пламъците се разпространяват на повърхността му. Разпространението на пламъците може да се разглежда като последователност от запалвания. Ето защо, разпространението на пламъците се ръководи от същите фактори, като запалването. Топлината, отделена от горящата повърхност оказва влияние върху скоростта на разпространение на пламъка. По този начин, факторите, които регулират скоростта на топлина са от съществено значение и за разпространение на пламъците [95].

Запалимостта, отделянето на топлина и разрастване на пожара не са обект на

изследване в настоящата работа.

#### *1.5.2. Пожарна опасност на дървесината и мерки за нейната редукция*

Процесът на изгаряне на дървесината е съпроводен с отделяне на:

- голямо количество топлина (способстващо за по-нататъшното верижно възпламеняване);
- аерозоли, токсичен въглероден монооксид CO, задушлив въглероден диоксид CO<sub>2</sub> и др., които представляват реална опасност за бедстващия.

Чрез прилагане на огнезащитни мероприятия, може да се повиши огнеустойчивостта на дървесината и да се намали нейната пожарна опасност.

За намаляване пожарната опасност на дървесината, се препоръчват следните решения:

- съгласно [11] не се допуска проектиране на дървени конструкции в сгради, в които температурата на дървесината надвишава 55 °C;
- строителството да бъде изпълнено, с колкото е възможно по-гладки тавани и стени;
- да се защитят открити дървени конструкции от запалване, чрез мазилки, замазки, облицовки, обшивки, лакове огненабъбващи бои и импрегнация [9];

#### *1.5.3. Пасивни мерки за ограничаване разпространяването на пожара*

Целта на пасивните мерки е осигуряване защита на конструкцията и на обитателите чрез ограничаване разпространението на пожара вътре и извън сградата, запазване устойчивостта на конструкцията като цяло и обезпечаване безопасността на евакуационните трактове.

##### *1.5.3.1. Архитектурно-обемнопланировъчни мерки*

Същността на тази превенция се заключава в разделяне обема на сградата на „огнеустойчиви клетки“, т. нар. „пожарни сектори“, отделени един от друг с огнеустойчиви стени и хоризонтални – междуетажни и тавански конструкции.

##### *1.5.3.2. Конструктивни мерки за противодействие на пожара*

Основната цел на конструктивните мерки е осигуряване устойчивостта на сградата и забавяне или минимизиране на разпространението на пожара и дима в нея, или към съседни сгради за научно обоснован период от време.

## Раздел VI

### **Пасивен контрол над вътрешния пожар**

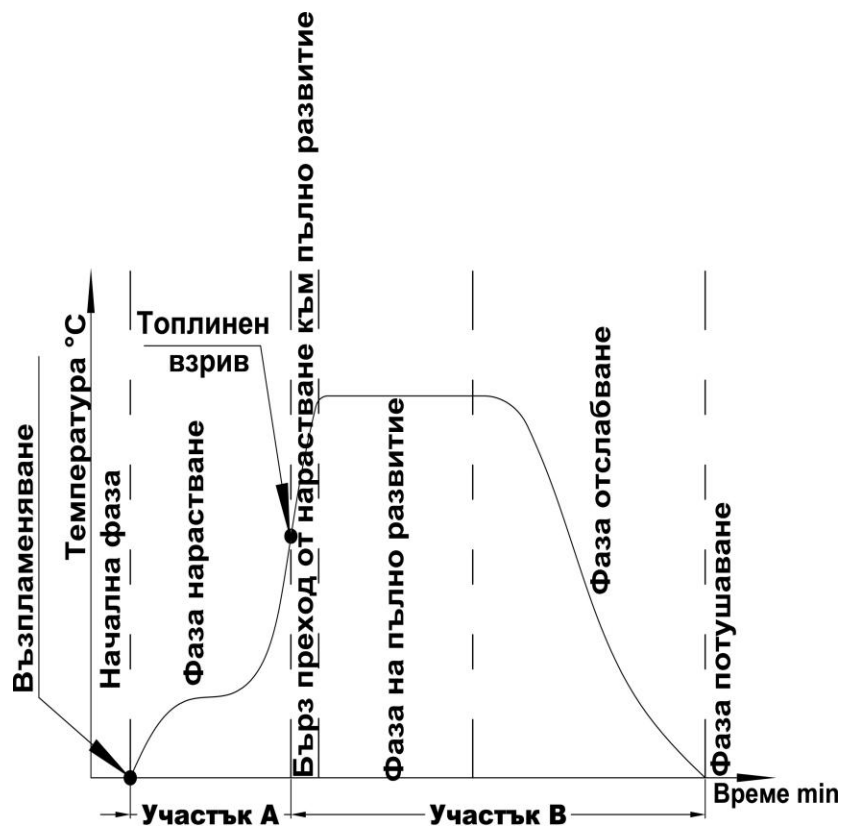
Пасивният контрол над вътрешния пожар зависи от два фактора:

- реакция на огън;

- огнеустойчивост.

### 1.6.1. Реакция на огън

Защитеният материал не бива да се запалва лесно в началния период от развитието на пожара, при неговото нарастване и при условията на пълно развитие на пожара фиг.1.10.



Фигура 1.10. Фази на развитие на пожар в сграда

Реакцията на огън оценява приноса на вътрешните горими повърхности към разпространението на пламъка и се определя въз основа на резултатите от изпитване. Целта е да се гарантира, че огънят няма да се разпространява с опасна скорост по стени и тавани и най-вече в циркуляционни пространства.

Относително лесно е да се подобри реакцията на огън на дървесните продукти чрез използване на т. нар. забавители на горенето, които се внасят през повърхността на дървото чрез импрегнация и остават в порестата структура на дървесината

и целулозните материали. Повечето от използваните забавители на горенето подобряват основно следните параметри на реакцията на огън на дървесината: запалването, отделянето на топлина, разпространението на пламъчното горене и отделянето на дим.

Забавителите на горенето не могат да направят дървото и дървените изделия негорими, но могат да подобрят неговите параметри на реакция на огън (като конструктивен материал) и да го преместят от клас D (с много съществен принос) в клас B (с твърде ограничен принос към развитието на пожара).

По същество един пожар в сграда може да включва някои или всички фази при развитието си илюстрирани на фиг.1.10. и описани в табл.1.1. Пожарните условия могат да се изменят значително, навсякъде в сградата съдържаща: област във фаза на пълно развитие на пожара, съседно отделение - в етап разтеж на пожара, както и помещения без каквато и да е индикация за пожар. По аналогичен начин може да се

изменя и режимът на горене (различен в зависимост от контрола над вентилацията или количеството гориво) за посочените области в сградата.

Таблица I.1.

| Фаза                                                | Състояние                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Начална</b>                                      | Нагриване на потенциалното гориво чрез различни горивни процеси: тлеене, пламъчно горене или лъчисто (радиационно) нагриване.                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Нарастване (преди топлинния взрив)</b>           | Възпламеняването се явява начало на пожарното развитие. В началния етап на разтеж пожарът обикновено ще бъде малък и локализиран в помещението. Натрупване на дим и продукти на горенето (вследствие на пиролиза) в слоя под тавана - постепенно ще се оформя горен по-горещ слой в помещението и относително по-студен и по-чист слой на дъното.                 |
| <b>Бърз преход от нарастване към пълно развитие</b> | В случай на пожар, развиващ се в светкавичен преход, радиацията от горящия пламък и горещия слой дим може да доведат до незабавно възпламеняване на неизгорял горим материал в помещението. Цялото помещение ще бъде погълнато от огън и дим.                                                                                                                     |
| <b>Пълно развитие (след бързия преход)</b>          | Пожарът навлиза в напълно развит стадий, при който отделянето на топлина е с постоянна интензивност, а скоростта на горене остава голяма и постоянна.<br>Пожарът може да бъде контролиран чрез вентилация или количество гориво. Обикновено това е най-критичният етап, при който е възможно да настъпи разрушаване на конструкцията и разпространение на пожара. |
| <b>Отслабване (Затихване)</b>                       | След периода на устойчиво горене скоростта на горене намалява, като горимите материали са консумирани и пожарът навлиза в етап на затихване.                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Потушаване</b>                                   | Пожарът в крайна сметка ще се прекрати, когато цялото гориво е използвано (всички горими материали са използвани) и няма повече енергия за освобождаване.                                                                                                                                                                                                         |

Реакцията на огън е важен показател за фаза „нарастване” - участък А от фиг.I.10. при вътрешен пожар в сграда.

#### I.6.2. Огнеустойчивост

Огнеустойчивостта на елементите е от особена важност за конструкцията във фазите „пълно развитие” и „отслабване” на пожара в сградата - участък В от фиг.I.2.

##### I.6.2.1. Граница на огнеустойчивост

Периодът от време, отчитан от момента на възникване на неконтролирано горене в сграда, до момента в който се получи индикация, че носещата конструкция губи способността си да удовлетворява проектното изискване за състояние при пожар, се нарича граница на огнеустойчивост и се означава с  $R_{fi}$  или  $t_{fi}$ .

За мембранообразните конструкции (например подовите - хоризонтални и наклонените - подпокривни) границата на огнеустойчивост се отбелязва с REI, като

буквите в абривиатурата имат следното значение:

R (resistance = съпротива) – загубата на носеща способност или непригодност за експлоатация;

E (etanheite = цялост) – загуба на цялостност;

I (insulation = изолация) - загуба на топлоизолационна способност.

Трите нормирани основни гранични състояния – R, E и I, проектно обезпечават нужната огнеустойчивост на елементите на тези конструкции в условия на пожар (минималното изискуемо време, през което конструкцията не допуска изпълнението на което и да е от изброените събития).

Извършено е проучване на всички известни български публикации, свързани с изследвания за определяне на границата на огнеустойчивост на дървени елементи (ДЕ) [2, 3, 8, 10, 23, 59 ÷ 62, 75, 102 ÷ 109].

До момента в България няма проведено изследване свързано с определяне границата на огнеустойчивост на ДПК като конструкция и изменението на температурното поле в ансамбъла от носещи греди и каратаван. Ето защо, едно от направленията в настоящата работа ще бъде теоретико-експерименталното определяне на границата на огнеустойчивост на ДПК в условията на стандартно огнево въздействие.

#### *Аналитично определяне границата на огнеустойчивост*

За незащитени дървени греди от подова (подпокривна) конструкция при пожар, от първостепенна важност е проектно обезпечаване на показателя „R”.

След проучване на български и чужди литературни източници [8, 13, 22, 24, 100] бяха установени три аналитични метода (един български [8] и две европейски [13]) за теоретичните изследвания на проблема:

- българска методика [8]
- мето на намаленото напречно сечение [13]
- мето на редуцираните характеристики [13].

#### *Пожарна защита на дървени конструкции със мазилки, замазки, облицовки, обшивки, лакове огненабъбващи бои и импрегниране*

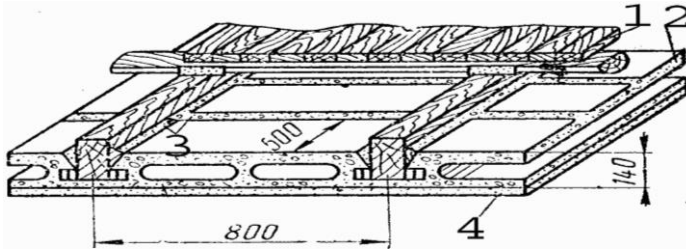
При дървените конструкции ефективно средство за повишаване на огнеустойчивостта на дървесината са мазилките, замазките, облицовките и обшивките.

Термичното съпротивление на мазилките и облицовките се явява онова качество, което обезпечава забавено нагриване на дървесината до температурата на samozапалване. От тази гледна точка е целесъобразно използването на такива мазилки и облицовки, които имат доказано най-високо термично съпротивление.

При определяне огнеустойчивостта на дървена конструкция защитният ефект от мазилката се измерва във време 15 ÷ 20 min и е във функция от нейната дебелина,

вид и начин на нанасяне.

Друга профилактика в противопожарно отношение е използването на съвременни облицовъчни материали фиг.1.11. Към тях спадат листове от азбестоцимент и плоскости изпълнени от строителен гипс.



Фигура 1.11. Леките кухотели панели и мазилки са добра защита на ДПК срещу пожар

- 1) дюшеме; 2) керамзитобетонови, газобетонови или гипсови кухотели панелни тела;
- 3) разтвор; 4) мазилка, или гипсофазер;

реализация на ендотермична реакция. При нейното протичане гипсът поглъща значително количество топлина необходима за неговата дехидратация - превръщане на гипсовата молекула в безводна молекула калциев солфат ( $\text{CaSO}_4$ ) и изпаряването на освободената вода.

При пожар гипсовият защитен слой (под формата на гипсокартон, гипсофазер, гипсова мазилка или гипсови кухотели панелни тела) едновременно изпълнява две роли:

- активна - за сметка на погълната топлина температурата зад преградата е по-ниска;
- пасивна - като екран възпрепятства преминаването на топлинния поток.

Целулозните плоскости са горими, но за определен период от време те защитават носещите дървени елементи – повишават тяхната огнеустойчивост.

Огнезащитните покрития (лакове и бои) са средства за намаляване на пожарната опасност на дървесината. У нас се използват трудногоримите лакове: ПОЛД-40, ПОЛД-ВХС и ПОЛД-ПВХС. Произвеждат се в „Лакпром“ Световрачане.

Друг начин за огнезащита на дървесината е прилагане на импрегнация или повърхностно покритие с антипирени.

При нагряване на импрегнирана дървесина, протича поетапно разтопяване и разлагане на антипирените, свързано с образуване на силни киселини (солна, сярна, фосфорна и др.), които предизвикват химическа дехидратация и овъгляване (именно този ефект се преследва чрез импрегнация с антипирени) на дървесината. По този начин се възпрепятства нейното (на дървесината) разлагане и образуването на горими продукти. Част от антипирените при разлагането си образуват пяна, която създава защитен слой, предпазващ дървесината от непосредствено пламъчно

въздействие. Осве това при разлагането на антипирените се отделят газове и пари с инхибиращ ефект, които подтискат пламъчното горене и тлеене на дървесината и разреждат зоната на горене.

Импрегнацията не е подходяща за защита на дървени носещи единични елементи и конструкции, защото намалява тяхната носимоспособност и може да бъде нанасяна само веднъж – преди монтажа им.

В приложение С на дисертационния труд е дадена допълнителна информация за: обшивките, мазилките, огненабъбващите бои и лакове използвани у нас, както и съставите за импрегниране на дървесината.

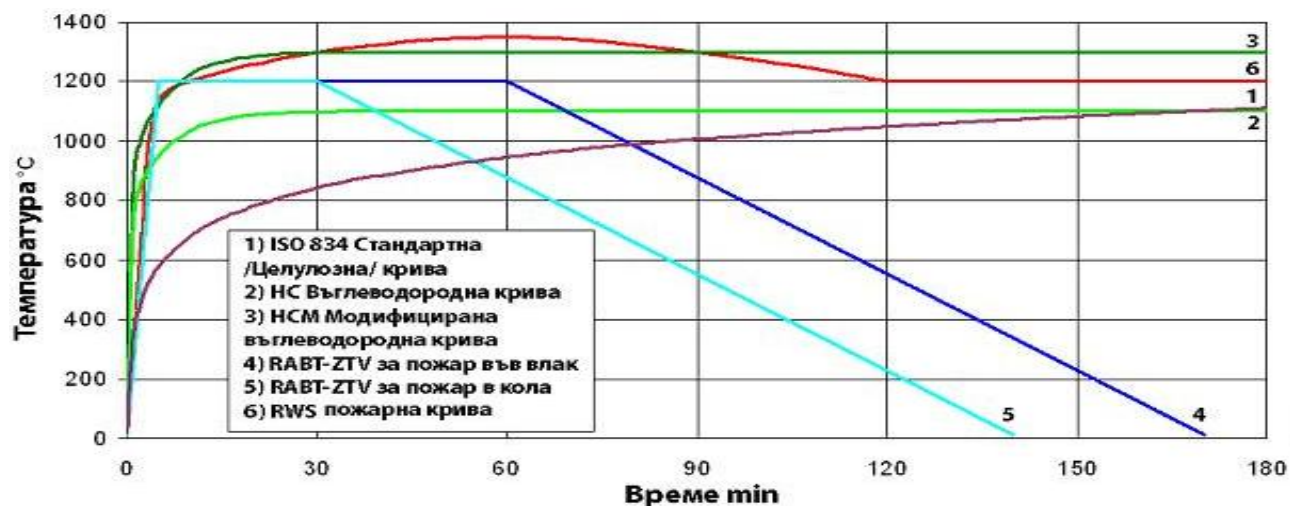
В проекта, за защита на ДПК от огнево въздействие освен облицовка с гипсофасер на част от тавана (в междугредието), не се предвижда използването на мазилки, замазки, лакове огненабъбващи бои и импрегниране.

## Раздел VII

### Пожарни криви (време/температурни криви)

За цялостното поведение на дървената подова конструкция в условията на стандартно пожарно въздействие, освен аналитичните методи е необходимо провеждането на експерименти с опитни образци. Експерименталните резултати, трябва да са близки по стойност до теоретичните.

Пожарните криви известни още като „Време/Температурни криви“ служат за тестване на пасивни системи за пожарна защита, като: противопожарни врати, подови конструкции, възли и др. елементи на сградата, с цел определяне тяхната граница на огнеустойчивост фиг. I.12.



Фигура I.12. Пожарни криви използвани в Европа

Националните и международните пожарни криви са били разработени за различните пожарни експозиции [36]. Всяка страна от Европейския съюз има разработена програма за пожарни изпитания в подкрепа на своите строителни

норми.

Останалите температурни криви от фиг. I.12. (освен стандартната), са показани в приложение С на дисертационния труд.

#### *I.7.1. Целулозна – известна още като пожарна крива от категория „А”*

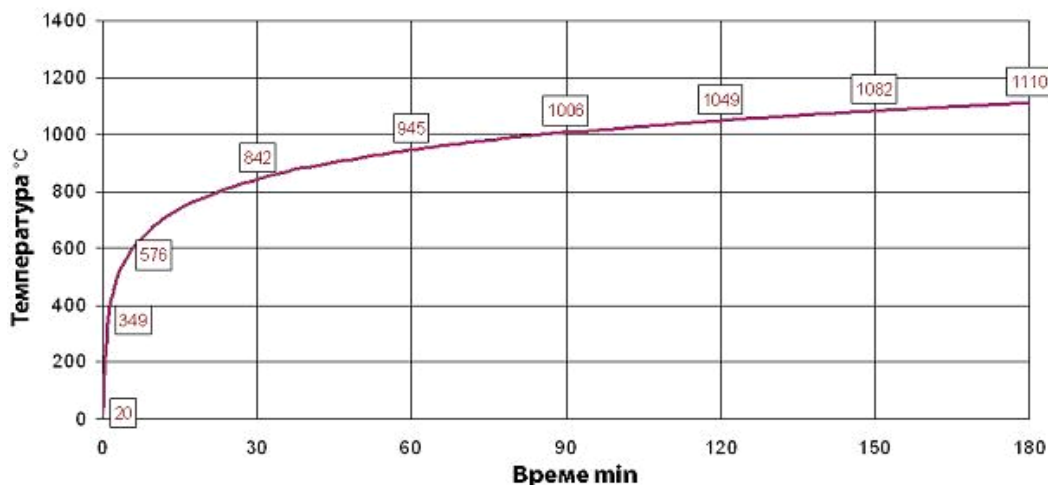
Тя покрива основния сценарий за пожар на лесно запалими артикули, като обзавеждане и съдържание на сградата, както и материалите изграждащи нейната конструкция фиг. I.13.

Температурата на развитие на ISO – 834, стандартизирана у нас, като БДС EN 1363 се описва с формулата:

$$T = 20 + 345 \cdot \text{LOG}(8 \cdot t + 1), \quad (\text{I.1})$$

където:

- 20 е началната температура, °C;
- t е времето измерено от началото на огневото въздействие, min.



Фигура I.13.  
Пожарна крива  
БДС EN 1363

Предвижда се провеждането на експериментални изследвания (с натурни образци и малки пакети – извадки от връхната конструкция на ДПК), свързани с определянето на границата на огнеустойчивост на ДПК в условията на стандартно огнево въздействие и изменението на температурата в изпитвателната пещ е необходимо да се реализира съгласно пожарна крива БДС EN 1363 (целулозна крива).

## Раздел VIII

### **Определяне на термодинамичните периоди на самозапалване на борова и дъбова дървесина**

Един от основните фактори влияещ върху пожарната опасност на дървените конструкции е тяхната температура на самозапалване.

При пожар се създават условия за екзотермично разлагане на дървесината, при което топлината която се отделя от нея не се разсейва достатъчно бързо в околната среда. Описаният процес води до самонагриване, а след това и до самозапалване, при което последното настъпва, когато скоростта на топлопроизводство е по висока от тази на топлоотделяне [38].

Изследванията имат отношение към помещения изградени с носещи дървени елементи, или такива със складиран дървен материал (зимнични и тавански помещения или подпокривни пространства), в които няма индикация за възникнало пожарно огнище, но през които преминава нагорещен флуид (газовъздушна смес) от съществуващ пожар.

В табл.1.2. са посочени температурите на самозапалване на някои горива или химически съединения.

Таблица 1.2.

| №        | Гориво или химическо съединение    | Температура, °C |
|----------|------------------------------------|-----------------|
| <b>1</b> | <b>Дърво</b>                       | <b>300</b>      |
| <b>2</b> | <b>Суха борова дървесина – чам</b> | <b>427</b>      |
| <b>3</b> | <b>Суха дъбова дървесина</b>       | <b>482</b>      |
| <b>4</b> | <b>Дървени въглища</b>             | <b>349</b>      |
| <b>5</b> | <b>Въглерод</b>                    | <b>700</b>      |

Данните в таблицата са приблизителни, а за редуциране на опасността (в зависимост от стадия на развитие на самозапалването) от разрастване на съществуващ пожар са необходими изследвания за осигуряване на предварителна информация за периодите на самозапалване на дъбова (в средата на миналия век скатните покриви у нас се строяха с използването на дъбови носещи греди, което налага изследването на този вид дървесина) и борова дървесина, при повишаване на температурата с постоянна скорост.

## Раздел IX

### Димообразуване

При пожар, в сграда потърпевшите се евакуират, а след това, ако е възможно домашните животни и накрая се спасява недвижимата собственост (материалните ценности).

Пребиваващите в горящата сграда, са подложени на:

- отделящата се топлина;
- пониженото съдържание на кислород;
- вдишването на нагорещени газове (например пожара на склада за

киноленти в Панчарево);

- съществуващата силна задименост и токсичност.

След възникване на пожара, димообразуването е следствие на процеса на развитието му.

В условията на пожар, при горене на дървесина, се отделят газообразни, течни и твърди вещества наречени продукти на горенето, които се разпространяват в газовата среда и създават задимяване.

Обемът на отделящия се дим (малкодисперсна композиционна система), неговата плътност и токсичност, зависят от свойствата на горящия материал и от условията за протичане процеса на горене. Той се генерира, както при беспламенно (тлеене) така и при пламенно горене [1].

Димът намалява видимостта и по този начин забавя евакуацията от помещението, което пък пряко влияе върху пребиваващите в сградата чрез продуктите на горене (понякога хората са изложени на тях недопустимо дълъг период от време).

По статистически данни за пожари станали във Великобритания за периода след втората световна война, делът на смъртните случаи в резултат на отравяния от дим и токсични газове значително е нараснал и е достигнал 50% [12].

Задачата за димообразуване има своите две различни части:

- ранен етап на пожара – от огъня е обхванат само отделен предмет;
- пълен обхват на помещението от пламъци – етап от пожара, протичащ вероятно в режим на регулируема вентилация [1].

Докато първата част от задачата е свързана с откриването на пожара, то втората представлява граничен случай, при който се образува голямо количество дим, правещ непроходим маршрута за евакуация в места отдалечени от огнището на пожара. Резултатите от малкомащабните изпитания могат да бъдат използвани за пресмятане количеството на дима образуван през ранния етап от пожара, но за втората част от задачата са нужни допълнителни данни [1].

При неблагоприятни стечения на обстоятелствата димът се явява запалим и може да образува възпламеняема атмосфера. При запалване на такава атмосфера протича взрив [1].

Знаейки свойствата и плътността на дима отделящ се даже и при малък пожар, проектантът може да прецени необходимия риск и скоростта на движение на дима вътре в проектираната сграда [12].

#### *1.9.1. Образуване частиците на дима*

В условията на пълно изгаряне, горивото се превръща в устойчиви газообразни вещества, но това се постига при дифузионно пламенно горене (рядко, ако въобще някога има такава).

При типичния пожар размесването на дима, настъпва за сметка на

турбулентните възходящи потоци, в които се наблюдава значителни падове на концентрацията. В области с ниска концентрация на кислород, някаква част от летящите продукти може да участват в редица реакции на пиролиза. В резултат на тях се образуват редица високомолекулни съединения, такива като полициклични ароматични въглеводородни съединения и полиацетилени, които се явяват огнища на сажди вътре в пламъка. Именно присъствието на сажди в дифузионния пламък, му придават жълтеникаво светене [1]. Тези малки частици могат да се подлагат на окисление вътре в пламъка, но при недостатъчно високи температури и концентрации на кислород, те се стремят да нарастват и спичат, образувайки по този начин по-големи частици, които от своя страна напускат областта на висока температура на пламъка във вид на дим [1].

Горимите вещества, наситени с кислород (например етилов спирт и ацетон) създават при изгарянето си по-малко дим отколкото въглеводородните съединения, от които се образуват. Тези общи наблюдения са съвместими с възможните димообразования при твърди запалими вещества. Така например в условията на свободно горене, наситените с кислород горими вещества като дървесина и полиметилметакрилат, образуват съществено по-малко дим от въглеводородните полимери полиетилен и полистирол.

Между дима образуван при тлеене и този получен при нагряване (до температури, при които протича химическо разлагане и еволюция на летящите продукти на горенето) на произволен въглеродосъдържащ материал съществува аналогия, макар характера на частиците и формата на тяхното образуване да са твърде различни [1].

#### *1.9.2. Измерване параметрите на дима, образуван от твърди частици*

Съществува методика на малкомащабните изпитания, за количествена оценка на изхода на дима чрез неговата оптическа плътност при определени условия.

За разлика от токсичността, оптическата плътност представлява окрупнена характеристика и почти не е чувствителна към точния химически състав на компонентите изграждащи механическата смес. Състава и обема на продуктите на изхода, подлежат на прогнозиране съгласно данните от малкомащабните изпитания, въпреки тяхната чувствителност към вида и условията на горенето.

Изходът на дима, образуван от твърди частици, излизащ от горящ материал, може да бъде оценен по един от следните методи:

- ☐ филтрация на дима и определяне масата на материала състоящ се от частици (само при малкомащабни изпитания);
- ☐ събиране на дима в даден обем и определяне на оптическата му плътност (само при малки – и средномащабни изпитания);
- ☐ измерване на оптическата плътност на дима по големината на неговото излизане от камерата на горене или горящото помещение и интегриране на този параметър по времето за получаване големината на пълното му излизане.

Преимуществото при определяне на оптическата плътност се състои в това, че

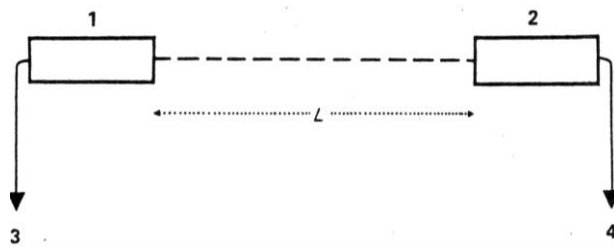
тя корелира с видимостта.

Оптическата плътност се определя посредством регистрацията на усилването на светлинния лъч, минаващ през дима съгласно формулата:

$$D = -10 \cdot \log_{10}(I/I_0) \text{ (dB)}, \quad (1.2)$$

където:

- $I$  и  $I_0$  са интензивностите на светлината попадаща върху фотоелемента, съответно при наличие и отсъствие на дим фиг.1.14.



Фигура 1.14.

Стенд за измерване на оптическата плътност на дима

- 1) източник на светлина;
- 2) фотоелемент;
- 3) стабилизирани източник на електроснабдяване;
- 4) източник на ток, усилвател и регистриращ прибор;

Процентът на затъмнение се определя съгласно израза:

$$\frac{I_0 - I}{I_0} \cdot 100, \quad (1.3)$$

при  $I = I_0 \cdot \exp(-k \cdot C \cdot L)$  (съгласно закона на Бер-Ламберт), където:

- „C” е масовата концентрация на димни частици в атмосферата;
- „k” е коефициент на поглъщане на дима;
- „L” е дължина на пътя на оптичния лъч [1].

С времето дима „старее” и броят частиците в единица обем намалява. Това произтича от слепването на частиците и получаване на по-големи агрегати („k” намалява според степента на нарастване средния размер на частиците).

Димните пожарни известители от йонизационен тип са с настройка за брой частици в единица обем и затова реагират добре на „младия” дим.

Те задействат и за най-малките частици с размери 10 nm (1 nm =  $10^{-9}$  m), докато прибори регистриращи разсейване на частици и затъмнение, не реагират дотогава докато размерите на частиците не бъдат от порядъка на дължината на вълната на светлината – 100 nm.

## Раздел X

### Определяне на видимостта

Видимостта в димна среда е от важно значение за спасяването на човек,

поставен в екстремните пожарни условия.

Субективното усещане за плътността на дима, е свързано с разстоянието на което виждаме през слоя дим и това усещане се превръща във важен фактор за опасността от зададено количество дим.

Видимостта в димна среда зависи от три групи условия.

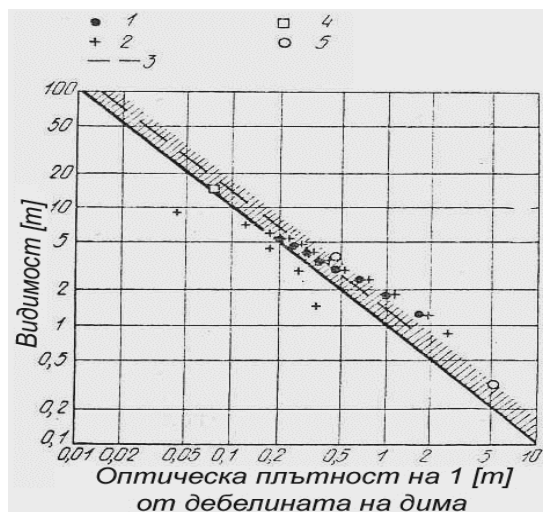
Първата група обхваща свойствата на дима: цвят, размер на частиците му, плътност, физиологически ефект – т.е. неговата дразнеща способност за дихателните пътища и очите.

Втората група зависи от обкръжаващата обстановка – размер и цвят на наблюдавания обект, както и неговото осветяване (интензивност на светлината, както отпред, така и отзад - когато обекта се осветява отвътре със собствен източник на светлина).

Към третата група условия спадат строго индивидуални особености на личността на наблюдателя: неговото физическо и психическо състояние, а така също дали той се намира в контролирани условия на експерименталната лаборатория, или в паническо състояние в реален пожар [12].

Задълбочено изследване за връзката между плътността на дима и видимостта е проведено в [27], където са разгледани както свойствата на дима, така и осветеността на обекта. Според автора на [27] видимостта на обекта осветяван отзад е 2,5 пъти по-голяма в сравнение с тази на обекта осветяван отпред.

При предно осветяване на обекта, видимостта може да се определи лесно от фиг. I.15.



Фигура I.15.

Сравняване на резултати получени от измерване на видимостта

- 1) Разбаш;
- 2) Малхотра;
- 3) Джин, като заштрихованата ивица показва амплитудата на отклонение на резултатите;
- 4) Резултати от експерименталното пожарно училище в Лос Анжелис;
- 5) Бонд и Брид;
- 6) Плътната линия изразява проста корелация, препоръчана от Бучер, Чити и Аштън;

Непрекъснатата права позволява приблизително да определим съотношението (корелацията) между видимостта и оптичната плътност на дима фиг. I.15. [12].

От фигурата се вижда, че при оптичната плътност на дима на 1 m равна на 1,0, видимостта е равна на 1 m, а при оптичната плътност на 1 m равна на 0,1 - видимостта е равна на 10 m.

Показаните примери водят до следните зависимости:

1) при предно осветяване на обекта

$$\text{видимост, (m)} = \frac{1}{\text{оптическа плътност на 1(m)}}; \quad (1.4)$$

2) обекта сам се осветява - със собствен източник на светлина

$$\text{видимост, (m)} = \frac{2,5}{\text{оптическа плътност на 1(m)}}. \quad (1.5)$$

Обикновено се приема, че гъстия неразреден дим отделян при пожар ще има оптическа плътност на 1 m, равна на 10 или повече, при което видимостта не надвишава 10 cm, тоест ако се постави дланта на ръката пред лицето няма да може да се вижда - нулева видимост [12].

**Минимално допустимата видимост по евакуационните пътища, се препоръчва да бъде 5 m съгласно [12].**

От казаното следва, че обемът на дима с оптическа плътност на 1 m от дебелината на дима равна на 10, трябва да се разрежи 50 пъти със свеж въздух до ниво на оптическа плътност на 1 m равна на 0,2. Тази необходимост се постига със съответните архитектурни решения на етап проектиране.

Необходимо е оптическата плътност да се определя бързо от аналитичен израз (или графика), в който фигурират оптическата плътност на частицата (този параметър ще бъде получен като резултат от провеждането на димови изпитания) и масовата концентрация на сажди в дима.

Познавайки етапите на развитие на пожара и режима на горенето, пожарникаря може да прецени моментната ситуация и предвиди какво би станало, ако не се предприемат необходимите действия:

- потенциални промени дължащи се на непланирана вентилация - например счупен прозорец;
- вероятен ефект от тактически действия.

## Раздел XI

### **Токсичността на продуктите от тлеене на борова и дъбова дървесина**

Токсични газове и пари произведени в пожари са отговорни за по-голямата част от смъртните случаи при строителни пожари. Информация за газовете, причиняващи тези смъртни случаи е оскъдна, поради липсата на подробно патологично изследване на жертвите [81].

По принцип се приема, че въглеродният окис CO е най-важният токсичен газ произведен при пожари, защото той е един от основните продукти при горенето на целулозни материали, които са вложени в големи количества, както в обзавеждането, така и конструктивно (например дървените къщи) [81]. Той винаги се

съдържа в дима отделян при пожар и неговото присъствие често е откривано при аутопсия на загинали (до 40%).

Съгласно доклад на Комисията за безопасност на потребителските продукти на САЩ (CPSC) при пожари от CO загиват  $150 \div 200$  човека годишно [70].

Независимо, че този газ е един от многото потенциално токсични компоненти, намиращи се в дима на пожара, той почти винаги има по-висока концентрация от останалите и затова повечето смъртни случаи се свързват именно с него [12].

При горенето на дървесина се образуват: водни пари, топлина,  $\text{CO}_2$ , и CO. Освен това се образуват алдехиди, киселини и други газове (Бамбери привежда повече от 50 компонента отделящи се при деструктивна дестилация на дървесината), които сами или в съчетание с водните пари оказват силно дразнещо въздействие на очите и дихателния тракт [12]. Отчита се и недостига на кислород. Потенциалните причини за намаляване на съдържанието на  $\text{O}_2$  в газовъздушната смес при пожар е: изместването му от друг газ, консумация на  $\text{O}_2$  при горенето, окисление, експлозия или химическа реакция [37].

Въглеродният диоксид е компонент (0,03%) на нормалния атмосферен въздух и при това условие няма токсичен ефект. Концентрацията му в производствени условия се контролира чрез подходящо избрана вентилация.  $\text{CO}_2$  се отделя в значителни количества при процеса на горене, но този процес не е свършен, особено при случайно създадени горивни системи (например пожар) при които се отделя въглероден оксид в значителни количества [37].

Въглеродният диоксид е задушлив и слабо отровен газ. Отравянето от него се проявява със затруднено и учестено дишане, главоболие и загуба на равновесие, при което се получават и механични травми. Характерни са коматозни състояния през кратки интервали от време. Понякога настъпва и спиране на сърдечната дейност. Неговата 8 часова усреднена гранична концентрация (концентрация безопасна за човешкия живот) е  $9000 \text{ mg/m}^3$  или 4920 ppm [37].

**Основно токсично вещество при горенето на дървесина и целулозни материали се явява CO.**

Въглеродният оксид се явява продукт на непълно изгаряне на въглища, дървесина и др. продукти на въглеродна основа. Той се образува вследствие на взривни работи, при работа на дизелови двигатели, експлозия на въглищен прах или газ. CO е без цвят, вкус и мирис, с експлозивни концентрации  $12,5\% \div 74\%$ . Експлозивните концентрации се получават при пожар в затворено пространство и при кислородно дефицитен пожар. При висока концентрация на CO е възможна експлозия на пожарни газове [37].

Граничната концентрация на CO за 8 часа е  $40 \text{ mg/m}^3$  или 35 ppm, при което неговата концентрация се замерва с газов анализатор - при малки концентрации, или колориметрични тръбички за директно отчитане [37].

Въглеродният оксид е силно токсичен газ [37]. Престоят от 5 min в атмосфера съдържаща 1% CO, може да предизвика загуба на съзнание, а след това и смърт за много кратко време [12].

Разбаш е измерил концентрацията на СО при няколко експериментални пожара и е отчетел, че тя може да достигне почти 10% [12].

Концентрации на СО до 0,02% об. и престой до 30 min, той не е опасен за човека [37].

Токсичното му действие се проявява при проникване през дихателната система в организма, като го уврежда в две направления:

- СО се свързва с хемоглобина в кръвта и намалява нейната окислителна способност. Образувания се карбоксихемоглобин ( $\text{HbCO}$ ) е много по устойчиво съединение от оксихемоглобина;
- блокира ензимните системи в клетките (например цитохромоксидазата, която отговаря за обмяната на кислорода) [37].

По този начин СО причинява директна и индиректна хипоксия (кислородна недостатъчност), като разстройва функциите на главния мозък, сърдечния мускул, черния дроб и други органи, които са много чувствителни към недостига или липсата на кислород [37].

Обгазеният трябва да се изведе на чист въздух, и при необходимост да се извърши изкуствено дишане, при възможност да се подаде кислород за да се намали отровното въздействие върху организма, да се остави в покой и незабавно да се потърси лекарска помощ [37].

Количеството на  $\text{CO}_2$  и СО е най-високо при температури  $150\div 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  – съответно 30,5% и 68% от обема.

За въздействието на  $\text{CO}_2$  и СО върху организма на човека може да се съди от табл.1.3. [8].

Таблица 1.3.

| Газообразни<br>продукти, милионни<br>части | Ниво опасно за човека при посочените интервали от време |           |          |        |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|----------|--------|
|                                            | 1 минута                                                | 30 минута | 1-2 часа | 8 часа |
| СО                                         | 3000                                                    | 1600      | 800      | 100    |
| $\text{CO}_2$                              | 50000                                                   | 40000     | 35000    | 32000  |

## Раздел XII

### Мерки за активен контрол над възникнал пожар

Мерките за активен контрол се проектират да действат при възникване на пожар и са предмет на дейност на органите на противопожарната охрана. Те трябва да отчетат отдалечеността на противопожарните служби и времето от известяване за възникнал пожар, до предприемане на гасителни действия (операции) [99].

Активните мерки за безопасност включват осигуряване на системи за

откриване/известяване, автоматични спринклерни инсталации, врати/клапани с автоматично действие, аварийно осветление, системи за вентилиране на дима и др. [10].

Един от важните елементи на активния контрол са пожароизвестителните системи. Информация за използваните видове пожароизвестителни системи и тяхната структура е дадена в приложение С на дисертационния труд.

## Раздел XIII

### Поразяващи фактори на дима

Основните поразяващи фактори на дима, отделян при горене в условия на пожар, са следните:

- намаляването (загубата) на видимостта - екстинция;
- наличието на токсични вещества в дима;
- отделящата се топлина и вдишването на нагорещени газове – напр. при пожара на склада за киноленти в Панчарево;
- пониженото съдържание (дефицит) на кислород;
- взривоопасността - въглеродният оксид освен, че е токсичен е и взривоопасен – при определени условия неведнъж по негова вина, а и на останалите продукти на непълното изгаряне са загивали хора;
- механичното действие - едрите частици на дима предизвикват запушвания на финните разклонения на белия дроб и намаляват респираторния му обем)
- психологическото въздействие - димът, топлината, шумът и миризмата са най-важните фактори, които предизвикват паника при пожар [101].

Обект на изследване в дисертацията са първите два фактора.

## Раздел XIV

### Димозащита

Под „димозащита” при пожар в сграда се разбира комплекс от технически решения и организационни мерки, насочени към недопускане на загинали (пострадали) от отделящите се токсични и с висока температура газове и разпространяване на пожара [101].

## Раздел XV

### Изводи от глава първа

Дървените и стомано–дървените конструкции са основни видове конструкции в

съвременното инженерно строителство и за целесъобразното задоволяване на най-широките и разнообразни нужди от инженерни конструкции изобщо, е необходимо да се познават и използват в подходящия случай.

След извършения подробен технологичен анализ за решения в областта на дървените подови конструкции в страни, като: САЩ, Англия, Германия, Франция, Испания, Италия, Южна Африка и Австралия бяха направени следните изводи:

- 1) Дървено-бетонните сводови конструкции не са подходящи за служебен офис (освен това строителният процес се оскъпява поради: кофриране, технологично време за набиране на якост на самия свод и декофриране). Използват се при уникално строителство свързано с конкретни архитектурни изисквания или при реставрационни работи.
- 2) Леките подови конструкции не са подходящи за офиси и за жилищни помещения при ниски температури и поради недостатъчна (или липса на) шумоизолация.
- 3) Панелното строителство от дърво във всичките си разновидности заема челно място в съвременното строително производство като цяло (виж фигури В.18. и В.19 от приложение В на дисертацията), но за конкретния случай не би било подходящо (оскъпяване предизвикано от: предварителна заготовка на голямата подова панела в предприятие, транспортни разходи до обекта, кранов монтаж, постигането на точни зидарски размери и отстояния – изисква се по-висока квалификация труд).
- 4) Използването на леките лепени двойно „Т” греди със стебло от шперплат във всичките си разновидности, заедно със закладните елементи (връзки и окачвачи) са подходящо решение при масовото строителство, за единични обекти тяхното използване не е икономически обосновано (у нас строителството на дървени къщи все още не е придобило масовост, което оскъпява заготовките, освен това се изисква допълнителната противопожарна обезпеченост на гредите).
- 5) Що се отнася до дъсчено-армираните „ARMALAM” греди, за тяхното изготвяне се изискват заводски условия, специални машини и време (за набиране на якост), или отново е актуален въпросът за цената на крайния продукт.
- 6) В България няма проведени експериментални изследвания за определяне на границата на огнеустойчивост за дървени подови конструкции и изменението на температурното поле в носещата дървена греда и във ВК на ДПК при стандартно огнево въздействие.
- 7) У нас няма проведени експерименти за определяне на температурата на samozапалване на дъбова и борова дървесина - и двата вида са намирали и намират приложение в хоризонтални и наклонени мембранни конструкции.
- 8) В България няма стандарт, който да нормира изискуемата (минималната)

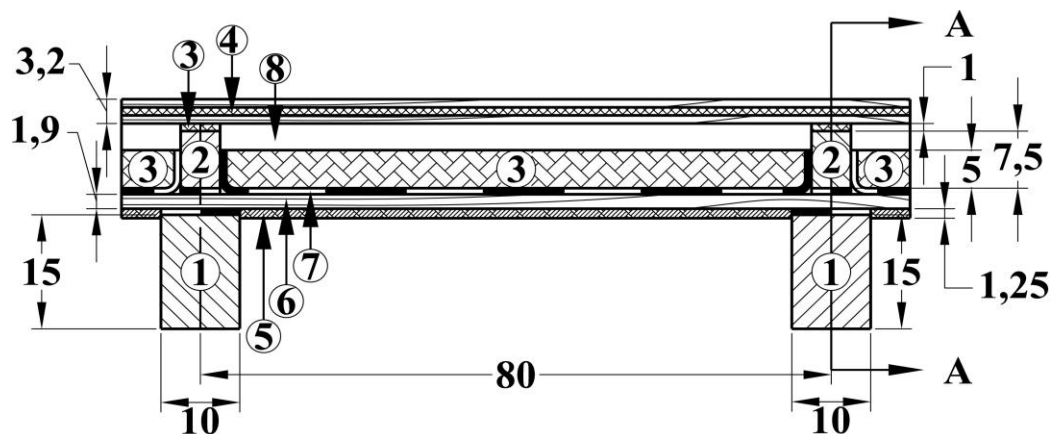
9) В страната няма нормативен документ, изискващ монтажа на пожароизвестителна система или датчици със звукова и светлинна сигнализация.

10) В „Наредба №13-1971/2009 за строителнотехнически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар” не е предвидена оценка на хуманния риск от токсичността на продуктите отделяни при пожар.

## ПРОЕКТИРАНЕ НА ДПК ЗА ОФИС

Проектът предвижда противопожарни мембрани, чиято функция се изпълнява от бичмета, които осигуряват и пространство за вентилация на конструкцията – виж фигури II.2. и II.3.

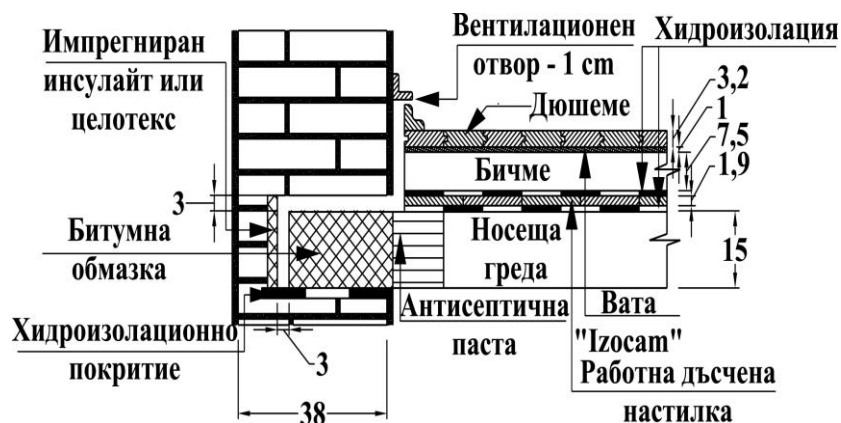
Дървеният материал (и за експериментите) е от II категория лека, изсушена иглолистна дървесина.



Фигура II.2. Дървена подова конструкция за офис

- 1) носещи греди; 2) монтажни бичмета; 3) топло/шумо изолация „IZOCAM” 4) дюшеме; 5) гипсфазер „VIDIWALL”; 6) дъсчена настилка; 7) хидро/пароизолация; 8) въздушно пространство за вентилация;

Подпирането на носещата гредя в надлъжната стена (разрез А-А от фиг.II.2.), е показано на фиг.II.3. Обърнато е особено внимание върху хидро/пароизолацията.



Фигура II.3. Детайлът от фиг.III.2. – разрез А-А

използвани за изграждането на ДПК, (фиг.II.2.) притежават обемни плътности, които са предоставени от производителя или определени на място.

### Определяне на нормативното (характеристичното) натоварване от собствено тегло на елементите

Характеристичният товар  $g_{k,i}$  от собствено тегло (плотно тегло) на елементите на ДПК се получен съгласно формулата:

$$g_{k,i} = \rho_i \cdot g \cdot h_i \cdot 10^{-3} \left[ \frac{kN}{m^2} \right], \quad (II.1)$$

където:

$\rho_i$  - е плътността,  $kg \cdot m^{-3}$ ;

### Раздел I

#### Якостно-деформационна проверка за избраната ДПК - по I и II група гранични условия

Характеристики на отделните елементи изграждащи ДПК

Конструктивните и изолационните материали

$g$  - земното ускорение,  $m.s^{-2}$ ;

$h_i$  - дебелината на материала,  $m$ .

### Коефициенти за натоварване

Коефициентите за натоварване са съобразени с действащия към момента нормативен документ за натоварвания.

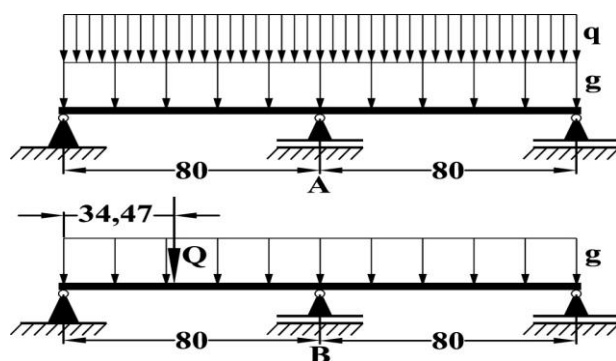
### Якостна и коравинна проверка на дюшеме и плътна дъсчена настилка

Проверките са за непрекъснати греди на две полета, което изисква дължина за дъските  $l_{min} = 1,60 m$ . Напречните размери на гредите  $b_f/h_f$  са:

- 1/0,032 m за дюшеме;
- 1/0,019 m за дъсчена настилка.

### Дюшеме

Проверката е направена за предварително избраната височина на дюшемето  $h_f = 3,2 cm$  при I и II съчетание за товарите съгласно фиг. II.4.:



Фигура II.4. Съчетание на товари  
I<sup>го</sup> съчетание A; II<sup>по</sup> съчетание B;

- I - от  $g$  и  $q$  - равномерно разпределени товари съответно от собствено тегло и експлоатационен товар (фиг. II.4.A.);
- II - от собствено тегло и най-неблагоприятно позиционирана сила  $Q$  върху гредата (фиг. II.4.B.).

### II съчетание фиг. II.4.B.

При проверка на якост и коравина за дървената настилка последната има неголяма относителна височина  $\frac{h}{l}$  и от

решаващо значение за проверките е второто съчетание на товарите фиг. II.4.B.

Проверка на якост:

$$M'_{II, max} = 0,0703.g.L^2 + 0,207.\psi.Q.L \text{ [kN.m]}; \quad (II.2)$$

$$\sigma' = \frac{M'_{II, max}}{W} \left[ \frac{kN}{cm^2} \right]; \quad (II.3)$$

$$\sigma' \leq \gamma_{lc}.R_b \quad (\gamma_{lc} = 1, R_b = 1,3 \text{ kN.cm}^{-2}), \quad (II.4)$$

където:  $\sigma'$  - нормалното напрежение,  $\frac{kN}{cm^2}$ ;

$W$  - съпротивителният момент,  $cm^3$ ;

$\psi$  - коефициентът на съчетание,  $\psi = 1,0$ . Якостното изискване при

$M'_{II, \max} = 1,363, \text{ kN.m}$  е изпълнено  $\sigma' = 0,799, \text{ kN.cm}^{-2} < 1,3 \text{ kN.cm}^{-2}$ .

Относителното провисване се определя съгласно формулите:

$$\frac{f}{L} \approx 0,145 \cdot \frac{\sigma'' \cdot L}{E \cdot h}, \quad (II.5)$$

$$f_u = \frac{1}{300}; \quad (II.6)$$

където:  $\sigma''$  - нормалното напрежение на огъване от сумарното въздействие (виж фиг. II.4.В.),  $\text{kN.cm}^{-2}$ ;  
 $E$  - еластичният модул,  $E = 1000 \text{ kN.cm}^{-2}$ ;  
 $h$  - височината на дюшемето  $h = 3,2, \text{ cm}$ ;  
 $f_u$  - максималното допустимо провисване,  $\text{cm}$ .

Тогава за  $M''_{II, \max} = 1,136 \text{ kN.m}$  се получава:

$$\sigma'' = 0,666 \text{ kN.cm}^{-2}; f = 0,1931 < f_u = 0,267 \text{ cm} \quad (II.6a)$$

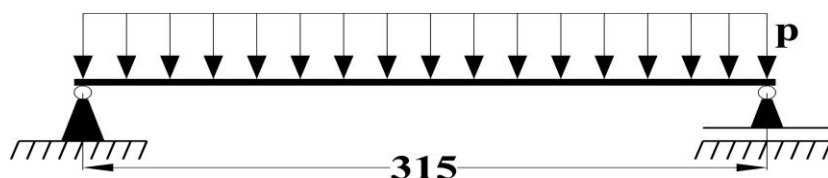
От направените проверки следва, че първоначално приетите напречни размери за дюшемето са оптимални и окончателни.

### Дъсчена (работна) настилка по греди

Проверката за якост ( $\sigma'' \leq \gamma_{lc} \cdot R_b$  с  $\gamma_{lc} = 1,2$ ) на работната настилка по греди се извършва съгласно натоварване (фиг. II.4.В.) за избраната височина на дъските  $h=1,9, \text{ cm}$ . За  $M''_{II, \max} = 0,6758, \text{ kN.m}$  и  $W=60,2, \text{ cm}^3$  якостното изискване:

$\sigma''=1,123, \text{ kN.cm}^{-2} < 1,2 \cdot 1,3=1,56, \text{ kN.cm}^{-2}$  е изпълнено, т.е. размерите са актуални.

### Проверка на якост и коравина за носещата греда



Фигура II.5. Натоварената носеща греда

Определени са:  
изчислителното  
натоварване  $p=2,4 \text{ kN.m}^{-1}$  и  
изчислителната дължина  
на гредата  $L = 3,15 \text{ m}$  (виж  
фиг. II.5.), при които

якостната проверка е изпълнена  $\sigma' = 0,755, \text{ kN.cm}^{-2} < 1,1 \cdot 1,3, \text{ kN.cm}^{-2}$ .

Проверка на деформация -

$$f \leq f_u; f = \frac{f_m}{k} \left[ 1 + c \cdot \left( \frac{h}{l} \right)^2 \right] [\text{cm}], \quad (II.7)$$

където:

- $f_m$  - провисването на греда с постоянна височина  $h$ , m вследствие

$$\text{действието на огъващи моменти, } f_m = \frac{5 \cdot \sigma'' \cdot L^2}{24 \cdot E \cdot h}, \text{ cm};$$

- $k$  - коефициентът - за греда с постоянна височина  $h$ , cm  $k = 1$ ;
- $c$  - коефициентът държащ сметка за ъгловите деформации  $c = 19,2$ .

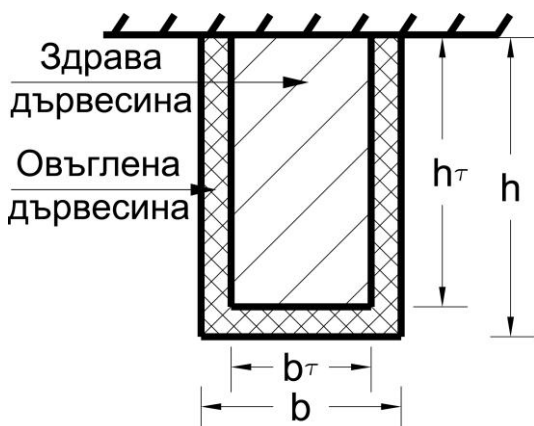
Проверката е удовлетворена за полученото провисване  $f=0,96$ , cm <  $f_u=1,05$ , cm и избраните размери са актуални.

## Раздел II

### Категоризация на избраната ДПК според показателя „R”

Границата на огнеустойчивост  $R_f$  за ДПК съгласно българската методика е определена посредством удовлетворяване якостното изискване  $\sigma_t \leq 1,612 \text{ kN.cm}^{-2}$ .

Натоварването, началният съпротивителен момент и максималният огъващ момент за гредата са както следва:  $p'' = 2,012$ , kN.m<sup>-1</sup>;  $W = 375$ , cm<sup>3</sup>;  $M''_{\max} = 2,4955$ , kN.m.



Фигура II.6. Тристранно огнево експонирана дървена греда

$b, h$  – начални размери;

$b_\tau, h_\tau$  - текущи размери;

Числените резултати на аналитичния метод са обработени математически и напрежението  $\sigma_\tau = 1,612$ , kN.cm<sup>-2</sup> е постигнато за момента от време  $\tau = 27,16$ , min.

Овъгल्याването на дървесината (фиг.II.6.) започва на третата минута от възникване на огневото въздействие и следователно  $R_f = 3 + 27,16 = 30,16$  min. Полученият резултат за границата на огнеустойчивост за разглежданата ДПК се отнася по показателя загуба на носеща способност към клас **R 30**.

В Европа за аналитичното определяне границата на огнеустойчивост, се използват две методики. Еврокод 5 е европейски стандарт, който се прилага при проектиране на сгради и съоръжения от дървен материал. Той се отнася само за изискванията за механична носимоспособност, експлоатационна годност, дълготрайност и огнеустойчивост на дървени конструкции [13].

Еврокод 5 нормира инженерните подходи за определяне характеристиките на напречните сечения в условия на пожар:

- метод на намаленото напречно сечение;
- метод на редуцираните характеристики.

При двата метода се използват постоянни във времето изчислителни скорости

на овъгляване  $V_d = V_{d,x} = V_{d,y} = \beta_n = 0,8 \text{ mm.min}^{-1}$  [13].

### Раздел III

#### Европейски стандарти EN 1995-1-2-2004, EN 1995-1-1-2004 и EN 338

Приетият модел за изчисляване на дървени елементи, трябва да отразява поведението на същите по време на пожар. Затова е необходимо за изисквания период на пожарно въздействие  $t_{fi}$  да е удовлетворено неравенството:  $E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$ , където  $E_{d,fi}$  е ефектът от въздействие при пожарна ситуация, включително и ефектите от топлинните разширения и деформации, а  $R_{d,t,fi}$  е съответната изчислителна носимоспособност при пожарна ситуация.

Изчислителните стойности на якостно-деформационните характеристики, необходими за проверка на механичната носимоспособност, се определят съгласно изразите:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}}, \quad (II.8)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot S_{05}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (II.9)$$

където:

- $k_{mod,fi}$  е коефициент за изменение при пожар;
- $k_{fi}$  - коефициент  $k_{fi} = 1,25$ ;
- $\gamma_{M,fi} = 1$  - частен коефициент на надеждност за характеристиките на материалите при пожар;
- $f_k$  - характеристична стойност на якостта;
- $S_{0,05}$  - 5% фрактил на деформационна характеристика;
- $f_{d,fi}$  и  $S_{d,fi}$  - са съответно изчислителна якост и деформационна характеристика при пожар [13].

За якостен клас C24 (мека дървесина)  $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$ ,  $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$  и за модула на еластичност –  $E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$  [100].

При незащитени огнево експонирани дървени греди и по двата нормирани инженерни подхода,  $P_{fi}$  „кореспондира“ с якостното изискване –

$$k_m \cdot \sigma_\tau \leq f_{m,y,d,fi} , \quad (II.10)$$

където:

- коефициента  $k_m = 0,7$  (за правоъгълно напречно сечение) отчита преразпределянето на напреженията вследствие на нехомогенността на материала в напречното сечение;
- $\sigma_\tau$  е нормалното ръбово напрежение в гредата за момента от време  $P_{fi}$ ;
- $f_{m,y,d,fi}$  е изчислителната якост на огъване при пожарна ситуация [13].

*Аналитично определяне на  $P_{fi}$  за разглежданата ДПК по метода на намаленото напречно сечение*

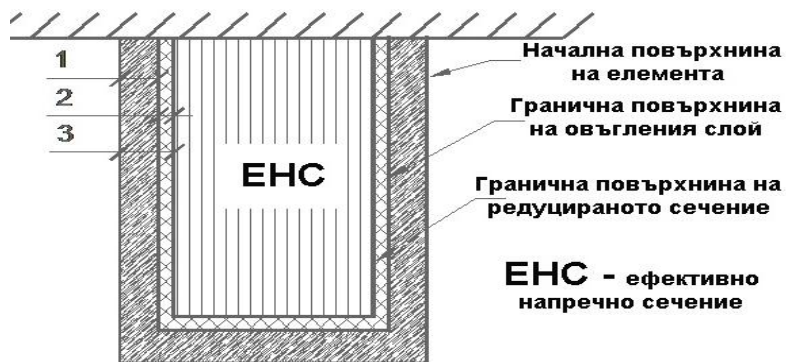
При този метод фиктивната дълбочина на овъгляване, в която е включен ефекта от закръгляване на ъглите и пукнатините се изчислява съгласно израза:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot \tau , \quad (II.11)$$

Ефективното напречно сечение се определя като се намалят размерите на първоначалното сечение с ефективната дълбочина на овъгляване определена от израза:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = \beta_n \cdot \tau + k_0 \cdot d_0 \quad [13]. \quad (II.12)$$

При този метод се приема, че слой с дебелина  $k_0 \cdot d_0$  има якостни и деформационни характеристики равни на нула [13]. Този слой е непосредствено след линията на овъгляване и в него е протекъл процеса пиролиза фиг. II.7.



Фигура II.7.  
Редуциране на напречното сечение

- 1)  $d_{char, n}$ ;
- 2) слой с дебелина  $k_0 \cdot d_0$ ;
- 3)  $d_{ef}$ ;

При тристранно огнево експониране на незащитени дървени греди, размерите на техните ефективни напречни сечения се определят съгласно израза -

$$b_\tau = b - 2 \cdot (\beta_n \cdot \tau + k_0 \cdot d_0) ; \quad h_\tau = h - (\beta_n \cdot \tau + k_0 \cdot d_0) , \quad (II.13)$$

където означенията  $d_0$  и  $k_0$  получават стойности както следва:

- $d_0 = 0,7 \text{ mm}$ ;
- $k_0 = \frac{t}{20}$  за  $t < 20 \text{ min}$ ;
- $k_0 = 1$  за  $t \geq 20 \text{ min}$  [13].

Якостно-деформационните характеристики за намаленото напречно сечение се определят за  $k_{\text{mod},fi} = 1$  [13].

Теоретичната категоризация по показателя „R” с методът на намаленото напречно сечение, е извършена след математическа обработка на числените резултати получени съгласно II.13. Получената граница на огнеустойчивост  $R_{fi} = 35,61 \text{ min}$ , дава основание разглежданата ДПК да бъде отнесена по показателя загуба на носеща способност към клас **R 30**.

*Метод на редуцираните характеристики – допълнителен метод за определяне на  $R_{fi}$  на разглежданата ДПК*

Методът се препоръчва, като допълнителен - за проверка или уточнение, а би следвало да се използва, като задължителен методът на намаленото напречно сечение [13].

За  $t \geq 20 \text{ min}$  коефициентът за изменение при пожар  $k_{\text{mod},fi}$  се определя съгласно израза:

$$\text{- за якост на огъване } k_{\text{mod},fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p_{\tau}}{A_{\tau}} \quad (\text{II.14})$$

в който с  $p_{\tau}$  е означен периметъра на текущото напречно сечение, а с  $A_{\tau}$  – неговата площ [13].

В момента  $t = 0$  се приема, че  $k_{\text{mod},fi} = 1$ , а за интервала  $0 \leq t \leq 20 \text{ min}$ ,  $k_{\text{mod},fi}$  може да се определи с линейна интерполация (между стойност „1” и съответната стойност от израза II.14 [13].

По методът на редуцираните характеристики също е извършена теоретична категоризация по показателя „R” за проектираната ДПК. Резултатът за границата на огнеустойчивост  $R_{fi} = 38,83 \text{ min}$  (получен след математическата обработка на резултатите за текущите размери на напречното сечение,  $p_{\tau}$ ,  $A_{\tau}$  и  $W_{\tau}$ ) е с  $3,73 \text{ min}$  по-голям от предходния. Получената стойност  $R_{fi} = 38,83 \text{ min}$ , е съизмерима с тази получена по метода на намаленото напречно сечение и служи само за проверка.

### Сравнителен анализ за границата на огнеустойчивост на дървени подпокривни греди

Теоретичното изследване е свързано с определяне границата на огнеустойчивост на ДГ като анализът се базира на следните, номерирани методи:

- българска методика – „метод 1” [8];
- метод на намаленото напречно сечение – „метод 2” [13];
- метод на редуцираните характеристики - „метод 3” [13].

Всички данни за гредите като: размери, максимални огъващи моменти, експериментални  $P_{f,e}$  и определените  $P_{f,i}$  са поместени в табл. II.1. Условната индексация в първа колона, втори ред на табл. II.1. да се чете:  $i$  – пореден номер и  $k$  – номер на избраната греда.

Таблица II.1.

| Греда   | $b$   | $h$   | $M$    | $P_{f,e}$ | $P_{f,1}$ | $P_{f,2}$ | $P_{f,3}$ |
|---------|-------|-------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| № $i/k$ | $m$   | $m$   | $kN.m$ | min       | min       | min       | min       |
| №1/1    | 0,124 | 0,12  | 3,132  | 32        | 28,3      | 32,5      | 34,5      |
| №2/4    | 0,11  | 0,111 | 2,371  | 23,4      | 18,4      | 22,8      | 24,7      |
| №3/5    | 0,119 | 0,125 | 3,256  | 23,9      | 29,2      | 33        | 35        |
| №4/7    | 0,114 | 0,118 | 2,784  | 20,7      | 23,7      | 27,7      | 29,7      |
| №5/9    | 0,112 | 0,117 | 2,683  | 18,8      | 22,4      | 26,5      | 28,5      |
| №6/11   | 0,115 | 0,12  | 2,9    | 20,3      | 25,1      | 29,1      | 31,1      |

За да има съпоставимост на получените резултати при изчисленията по трите метода е възприета общата скорост на овъгляване -  $V_d = V_{d,x} = V_{d,y} = \beta_n = 0,8 \text{ mm.min}^{-1}$ . Изчислителните резултати от изследването, бяха сравнени с получените у нас експериментални данни ( $P_{f,e}$  - виж табл. II.1.) за съответните опитни образци.

#### Модифицирана българска методика

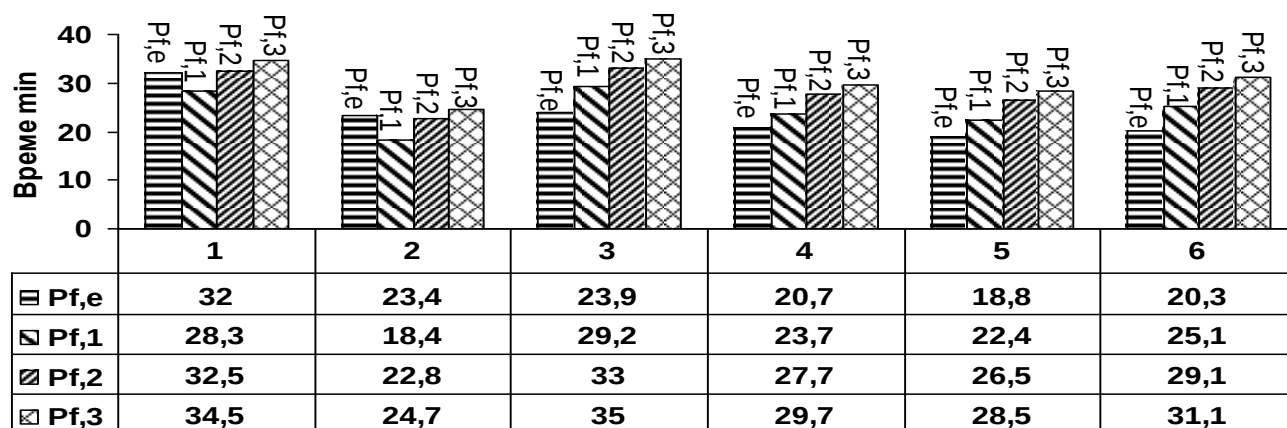
За определянето на границата на огнеустойчивост  $P_{f,1}$  по българската методика [8,59], бяха използвани съпротивления, получени от умножението на изчислителните  $R_b = R_c = 13 \text{ MPa}$  [11] с коефициентите:

- ⇒ **1,24** - намаляващ обезпечеността на  $R_b(R_c)$  от 95 % на 80 %;
- ⇒ **1,2** - отчитащ кратковременността на пожарното въздействие;
- ⇒ **1,3** - за преминаване от изчислителна към нормативна стойност на

съответното съпротивление.

Окончателно, по модифицираната българска методика за пожарна ситуация се получи -  $R'_{b,fi} = 1,24 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 13 = 25,15 \text{ MPa}$ , с което съпротивлението на огъване се доближава до стойността на изчислителната якост на огъване -  $f_{m,d,fi} = 30 \text{ MPa}$  съгласно EN 338 – Structural timber. Strength classes [100].

Данните от табл. II.1. за  $P_{f,e}$  и  $P_{f,i}$  са визуализирани с диаграми на фиг. II.8.



Греди с № 1 - 6

Фигура II.8. Граници на огнеустойчивост, получени за дървени греди

Модифицираната българска методика е използвана и за определяне на границата на огнеустойчивост на проектираната ДПК (виж табл. II.2.), с цел сравнение с огнеустойчивостите получени по европейските методи.

Таблица II.2.

| $\tau$       | $b_{\tau}$ | $h_{\tau}$ | $A_{\tau}$     | $W_{\tau} \cdot 10^{-4}$ | $\sigma_{\tau}$ |
|--------------|------------|------------|----------------|--------------------------|-----------------|
| min          | m          | m          | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup>           | MPa             |
| 0            | 0,100      | 0,150      | 0,015          | 3,75                     | 6,65            |
| 10           | 0,084      | 0,142      | 0,012          | 2,823                    | 8,84            |
| 20           | 0,068      | 0,134      | 0,009          | 2,035                    | 12,26           |
| 30           | 0,052      | 0,126      | 0,007          | 1,376                    | 18,14           |
| 35           | 0,044      | 0,122      | 0,005          | 1,091                    | 22,86           |
| <b>36,87</b> | 0,041      | 0,121      | 0,005          | 0,992                    | <b>25,15</b>    |
| 38,83        | 0,038      | 0,119      | 0,005          | 0,893                    | 27,95           |

В приложение D са разгледани алтернативни конструктивни решения водещи до повишаване на огнеустойчивостта на предложената ДПК.

### *Обсъждане на резултатите, получени от сравнителния анализ за огнеустойчивостта на подпокривните дървени греди*

От получените резултати за  $R_{f,i}$  на подпокривни дървени греди (виж табл. II.1.), могат да бъдат направени следните изводи:

1. Метод „1” и метод „2” в топло физичната си част се различават само по началния слой на овъгляване  $k_0 \cdot d_0$  и в някои коефициенти, оказващи влияние за сформирание изчислителното съпротивление (изчислителната якост).
2. Най-добри показатели при сравнение на експерименталните и теоретичните данни дава метод „1” - средна грешка 18,7 %.
3. Средната разлика при съпоставка на изчислителните методи е:
  - между методи „1” и „2” - 14,6%;
  - между методи „1” и „3” - 25 %;
  - между методи „2” и „3” - 7,0%.

Извършеният сравнителен анализ между методиките, показва, че методи „1” и „2” не се различават съществено, дават близки резултати за едноделни дървени греди – разлика до 15 %. В резултат на естествените недостатъци едноделните дървени греди показват значително разсейване на експерименталните данни по отношение на показателя граница на огнеустойчивост (от порядъка на 30% ÷ 50 %). Ето защо в метод „2” трябва да се редуцира изчислителната якост (в името на сигурността), така че получените теоретични резултати да са винаги по-малки от експерименталните, както това се случва в българската методика [59, 8];

### *Съпоставка на резултатите за $R_{fi}$ получени по трите метода за проектираната ДПК*

Процентната абсолютна разлика при съпоставка на изчислителните методи (условната номерация се запазва) за границата на огнеустойчивост на ДПК е:

- между методи „1” и „2” - 3,5%;
- между методи „1” и „3” – 5,31%;
- между методи „2” и „3” - 9,0%.

От извършеното сравнение се вижда, че най-малка е разликата между метод 1 и 2 което ги прави предпочитани за по-нататъшната работа.

## Раздел IV

### **Изводи от глава втора**

- 1) Проектирана е ДПК. Дървената подова конструкция е оптимизирана в конструктивен и противопожарен план – виж фигури II.1., II.2. и II.3.
- 2) Определена е границата на огнеустойчивост по изчислителен път по три метода, като най-близки резултати с точност до 3,5% дават методите,

посочени като „1” и „2”.

- 3) За нуждите на строителната практика у нас и хармонизацията на нашите норми с европейските е необходимо извършване на допълнителни експериментални изследвания с мембранни дървени конструкции за уточняване на стойностите на различни коефициенти, оказващи влияние върху изчислителните съпротивления (изчислителните якости).
- 4) Конструктивната схема е перспективна и нейното развитие за повишаване границата на огнеустойчивост, има потвърждение в показаните в приложение D на дисертационния труд четири алтернативни конструктивни решения [13].

### **Приноси**

1. Изготвен е проект на ДПК.
2. Определена е границата на огнеустойчивост на проектираната ДПК по:
  - българската методика [8]
  - методът на намаленото напречно сечение [13];
  - методът на редуцираните характеристики [13].
- 3) Извършена е съпоставка между методите и са определени най-подходящите.

## **Г Л А В А Т Р Е Т А**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ГРАНИЦАТА НА ОГНЕУСТОЙЧИВОСТ НА ДПК И ИЗГОТВЯНЕ МЕТОДИКА ЗА НЕЙНОТО ОПРЕДЕЛЯНЕ**

За потвърждение на теоретичните резултати, описани в глава трета бяха проведени експериментални изследвания върху пет опитни образци.

#### **Раздел I**

#### **Опитни образци**

За експериментите бяха подготвени два натурни образца за ДПК (НО) - изготвени в мащаб 1:1 и три пакета (под пакет се разбира пълният набор от елементи на конструкцията над носещите греди) от ДПК.

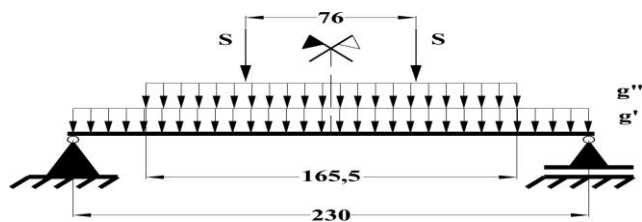
##### *III.1.1. Изготвяне на натурни опитни образци*

Двата НО бяха с еднакви габаритни размера, като се спазваше възприетата технологична последователност на изготвяне фиг.III.1.

Гипсофазерните плоскости са захванати със специални „KNAUF” винтове (оксидирани срещу корозия), с „потънали” глави.

За постигането на идеална гладкост гипсофазерни плоскости бяха шпакловани с цел противопожарна превенция.





Фигура III.3. Опитна греда с натоварване

Тарировъчните данни публикувани в паспорта на уреда, бяха използвани за получаване на аналитичния израз за отместванията:

$$y = 0,728.x + 1 \quad (III.2)$$

в който „x” има размерност на сила, а „y” на дължина. Големината на силите  $S_1$  и  $S_2$  (Фиг.III.3.) за двата експеримента

бяха постигнати чрез получените съответни деформации (отмествания) в динамометъра, определени по формула III.2:  $y_1 = \Delta_1 \approx 2,6 \text{ mm}$  и  $y_2 = \Delta_2 \approx 2,64 \text{ mm}$ . Опитното натоварване се контролираше чрез динамометъра, през време на експеримента.

Образците, бяха натоварени 40 min преди началото на експеримента и бяха отчетени първоначалните стойности на провисването, както следва: за образец №1 - 0,3 cm и за образец №2 - 0,37 cm.

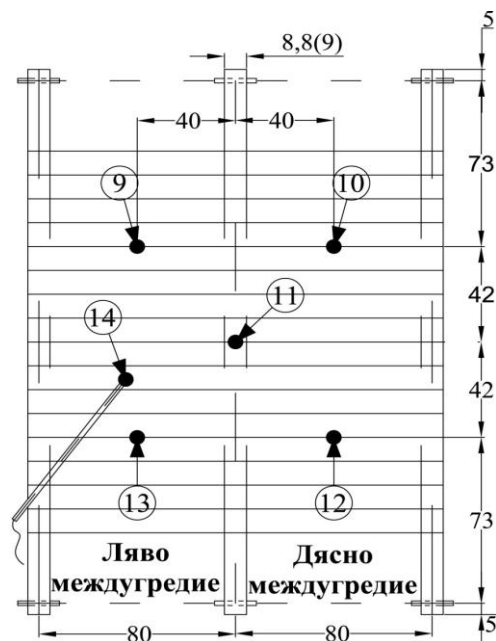
### III.1.3. Пакети от върхната конструкция и тяхната подготовка за експеримента

Пакетите бяха средно статистическа извадка от натурните образци с размери 0,55x0,55, m. и не бяха натоварени, а само подложени на огнево въздействие отдолу.

### III.1.4. Разполагане на термоелементи за отчитане изменението на температурата

Изменението на температурата в пещта, в НО и в пакетите от ВК, беше контролирано с термоелементи, включени към отчитащите уреди КСП 4.

#### III.1.4.1. Разположение на термоелементите в натурните образци



Фигура III.4.  
Термодвойки върху  
ненагрятата  
повърхност на НО

На фиг.III.4. са показани петте стационарни термоелементи (ТЕ) с номера 9, 10, 11, 12, 13 и подвижен ТЕ с номер 14.

Двете средни греди се различаваха по отношение напречните си размери - първият се отнася за образец №1, а този в скобите е за образец №2 – виж фиг.III.4.

Експериментите дадоха представа за изменението на температурното поле в средната носеща греда и в средата на дясното

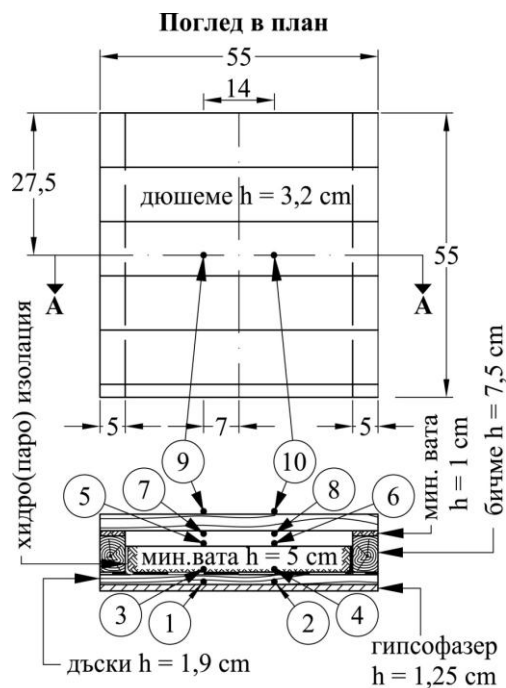
междугредие на ВК.

#### III.1.4.2. Разположение на термоелементите в пещта

Изменението на температурата в пещта се установяваше с четири броя ТЕ, два от които стационарни и два подвижни, като последните се позиционират на 10 cm от тавана на НО и на 10 cm от средната греда.

#### III.1.4.3. Разположение на термоелементите в пакетите от върхната конструкция

Опитният образец на пакет с габаритни размери, както и разположението на ТЕ във височина - по два броя на отчетно ниво, с цел да бъдат игнорирани техни откази поради прогаряне или механични повреди е показан на фиг.III.5.



Разрез А - А

Фигура III.5.

Разположение във височина на термоелементите в пакета

Образците бяха изпитани до 60 min с цел установяване поведението на композицията от материали в условия на огнево въздействие.

## Раздел II

### Измервани показатели

Преди и по време на експериментите се следеше за: изменението на: температурата в пещта, температурата в средната носеща греда (отнася се само за натурните образци), температурата в пакета на ДПК, температурата на ненагрятата повърхност и провисването в средата на ДПК (отнася се само за натурните образци).

## Раздел III

### Резултати, получени от изследването и техният анализ

Опитите се проведоха в условия на стандартно огнево въздействие.

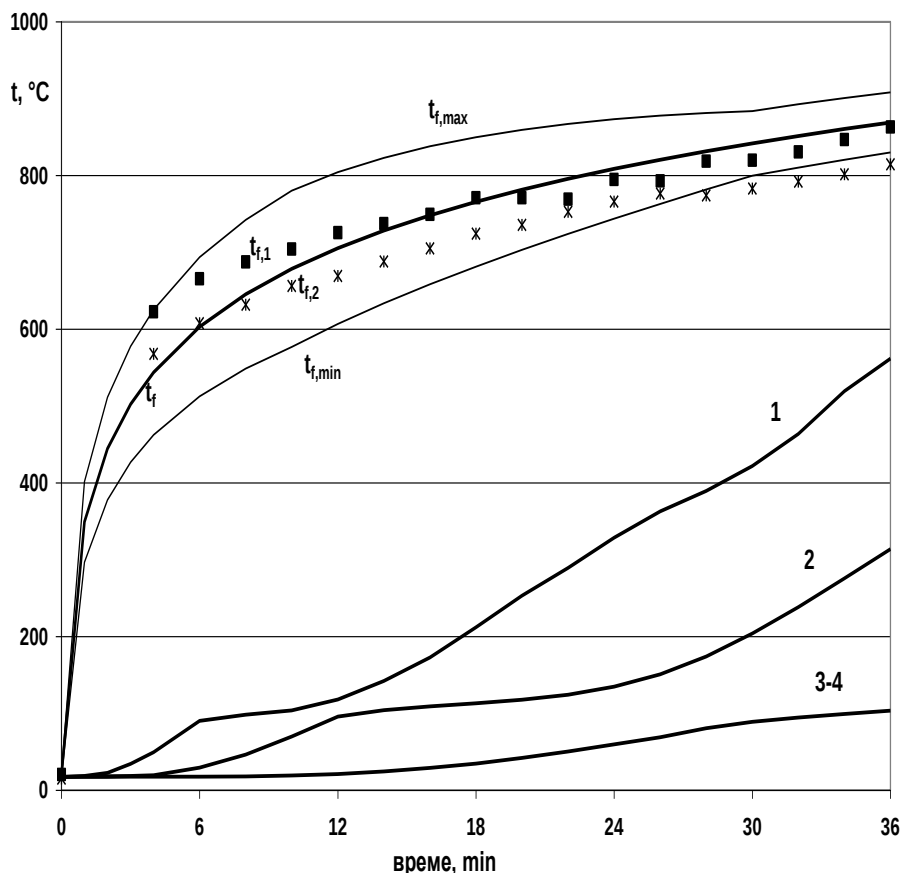
#### Изменение на температурата в пещта

От анализа на стандартната и реалната криви за температурния режим в пещта, посочени на фигури III.6. и III.8. е видно, че температурното въздействие съответства на изискванията на БДС EN 1363.

#### Изменение на температурата в средната носеща греда

Температурата в средната носеща греда беше отчитана посредством четири ТЕ, позиционирани симетрично относно оста на гредата и на дълбочина  $h = 7,2$  cm.

Изменението на температурното поле в главната носеща гредна на ДПК и на температурата в пещта (виж фиг.III.6.) дава възможност да се оцени приблизително докъде е настъпило овъгляване в сечението. За критерий е приета температура 300 °C, посочена в EN 1995-1-2. Крива „1” от фиг.III.6. е достигнала стойност 300 °C в 22 min, което означава, че овъгляването е достигнало т.1, разположена на  $1,06 \div 1,16$  cm от хоризонталния ръб на гредата. Крива „2” достига същата температура в 33 min, което означава - овъгляване в т. 2 отстояща от ръба на  $2,23 \div 2,43$  cm. Криви „3” и „4” са много близки по стойност и свидетелстват, че средната част от сечението на гредата е сравнително по-слабо нагрята, като в края на опита температурата в нея започва бързо да се повишава и достига 100 °C. След сваляне на образца от пещта, сечението в средната гредна е 13,5 % от началното.



Фигура III.6. Изменение на температурата в пещта и в сеченията на средната носеща гредна

$t_f$  – стандартна температурна крива, съгласно БДС EN1363;  
 $t_{f,min}$ ,  $t_{f,max}$  – минимално и максимално допустими отклонения за температура в пещта съгласно БДС EN1363;  
 $t_{f,1}$ ,  $t_{f,2}$  – средна температура в пещта при опити 1 и 2;  
изменение на температурата в гредата в точки 1,2,3 и 4 – криви с номера 1,2,3 и 4;

което е доказано по експериментален път.

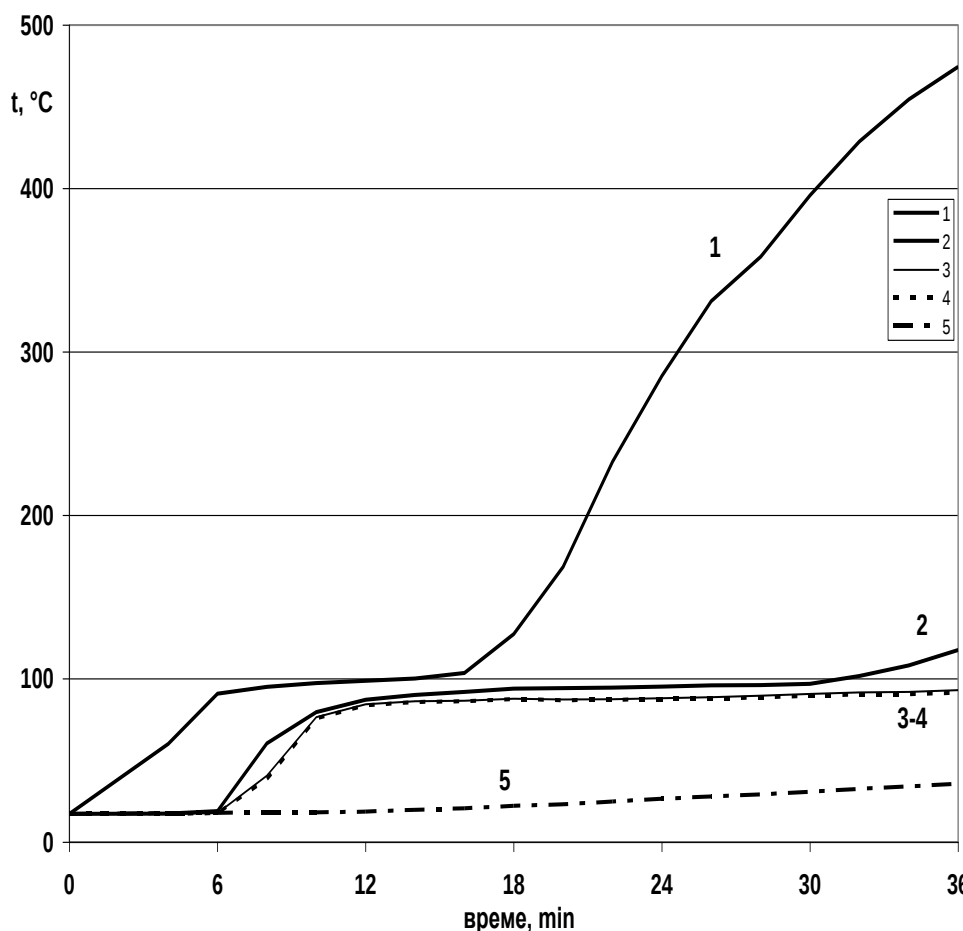
След реконструкция е установено, че прогнозираното остатъчното сечение на средната дървена гредна на 34 min е 36,4 % от началното.

Изменение на температурата във връхната конструкция на ДПК и в малките опитни образци (пакетите)

Изменението на температурата в каратавана и на ненагрятата повърхност на ДПК за НО, се отчиташе съответно от 4 и 6 бр. ТЕ. Средната стойност от показанията им са показани на фиг.III.7. – криви с номера 1÷5. Разрушаването на гипсофазерните плоскости настъпва при достигане на средна температура в тях 550-600 °C,

Разрушаването и опадването на слоя гипсофазер за различните части на подовата конструкция обаче не се подава на точно описание. Сигурен критерий, че той е паднал напълно е рязкото изменение на температурата в минералната вата, което обаче зависи от разрушаването на дъсчената обшивка. Последното не може да бъде установено от фиг.III.7. (крива 2), тъй като се случва след 36 min.

От крива 1 на фиг.III.7. се вижда, че средна температура 600 °C в гипсофазера се достига на 30 min, а за крива 1 от фиг.III.8. на 24 min.



Следователно може да се приеме, че разрушаването на гипсофазера в отделни зони е настъпило в интервала 24÷30 min.

Сравняването на резултатите за изменението на температурата във връхната конструкция на ДПК, получени за НО (виж фиг.III.7.) и в трите опитни образци - пакети (фиг.III.8.) показват, че температурното поле в пакетите е по-високо от това в НО за разглеждания период до 34 min. Това вероятно се дължи на гипсофазера, който до 34 min не е паднал, поради което разглежданата зона от ДПК е била

Фигура III.7. Изменение на температурата в каратавана и на ненагряваната повърхност на ДПК

криви 1,2,3, 4 – изменение на температурата в каратавана на ДПК;  
крива 5 – средна стойност на температурата в точки 9÷14 на ДПК, виж фиг.III.4.;

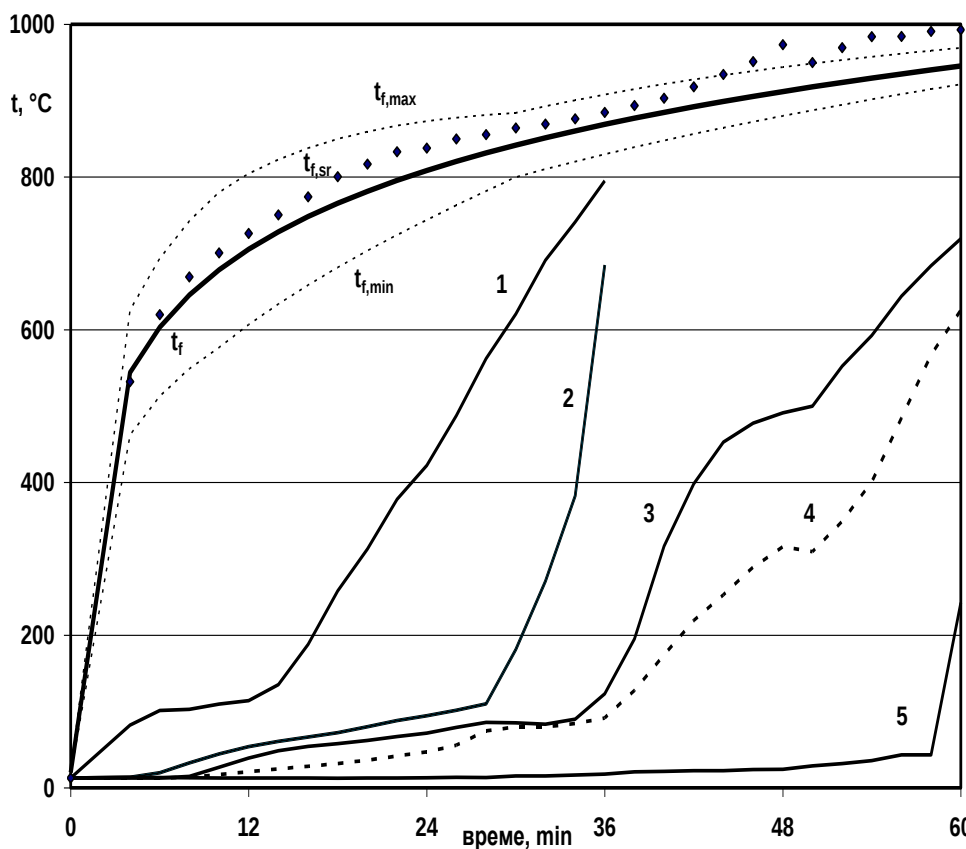
сравнително по-слабо нагрета.

Анализът на температурното поле в малките пакети (фиг.III.8.) показва, че разрушаването на дървената обшивка над слоя гипсофазер е настъпило след 34 min. Минералната вата задържа прогряването и запалването на дюшето (криви 3 и 4 на фиг.III.8.) около 12 min или овъгляването му започва на 46-тата min. След 6 min

минералната вата тотално е „преодоляна“ от огневото въздействие (виж чупката на крива 4). Затова свидетелства и фактът за засилване на димоотделянето от дюшемето по време на опита, а след това и появяването на пламъчно горене във фугите между дъските на 52-рата min от началото на опита.

#### Изменение на провисването в средната част на ДПК

Математическата обработка на получените резултати от отместването във времето показва много добра съпоставимост със линейната зависимост.



Фигура III.8. Изменение на температурата в пещта и на малките образци (пакети) от ДПК

$t_f$  – стандартна температурна крива, съгласно БДС EN1363  
 $t_{f,min}$ ,  $t_{f,max}$  – минимални и максимални допустими отклонения, съгласно БДС EN1363;  
 $t_{f,sr}$  – средна температура в пещта от трите опита;  
 крива 1 – средна стойност на температурата за ТЕ 1,2 – фиг. III.5.;  
 криви 2÷5 – средна стойност на температурата за ТЕ 3,4; ТЕ 5,6; ТЕ 7,8; ТЕ 9,10 – виж фиг. III.5.;

опитните образци е описан в точки III.1.1. и III.1.3.

#### Изпитвателен стенд за извършване на експерименти

Състои се от: контролно-измервателна апаратура (КИА), лостова система за

#### Раздел IV Методика за определяне границата на огнеустойчивост на ДПК

Методиката е предназначена да уточни изискванията и условията за провеждане на огневи експерименти с опитни образци на ДПК, съобразени с нормативните документи, както и за определяне конкретното опитно натоварване за експериментите – виж точка III.1.2.

#### Изготвяне на опитните образци

Процесът по изготвяне на

предаване на товари и пещ.

#### *Контролно-измервателна апаратура*

Към нея спадат: механичен флексиметър (жичков провисомер) и уреди за контрол на температурата КСП - 4.

#### *Отчитане провисването на гредата*

Измерванията се извършват за средата на носещата греда, където се предполага, че провисването ще достигне максимална стойност. Резултатите се отчитат преди и след прилагането на опитното натоварване на интервали от 1 min през време на периода на нагриване.

#### *Уреди за контрол на температурата - КСП-4*

Уредите КСП-4 отчитат температурата посредством термоелементи.

#### *Термоелементи за отчитане температурата в пещта*

Уредът КСП-4 с диапазон на скалата до 1300 °С. отчита температурата в пещта чрез четири ТЕ: два подвижни ТЕ от вида алумел-хромел с дебелина 1,2 mm и два стационарни ТЕ от същия вид, конзолно разположени в стените на пещта в тръбни маншони.

#### *Термоелементи за отчитане температурата в натурния образец*

Други два уреда със същия тип ТЕ, но с дебелини 0,7 mm и с диапазон на скалата до 800 °С, измерват температурата чрез датчици, разположени в средата на дясно междугредие и в средната греда.

#### *Термоелементи за отчитане температурата върху ненагрятата страна на НО*

Върху неизложената на огнево въздействие повърхност, с лепило на водна основа се прикрепят пет ТЕ. В зоните между тях се следи за по-висока температура посредством подвижен ТЕ (виж фиг.III.4.).

#### *Точност на контролно-измервателната апаратура*

Преди провеждане на огневи изпитвания измервателната апаратура трябва да бъде калибрована и проверена по отношение нивата на точност.

#### *Лостова система*

Служи за създаване на два съсредоточени товара (до 10 kN единия), приложени в краищата на средната третина от гредата – виж фиг.III.2. Товарите се предават чрез разпределителни, топлоизолирани плочи. Статичното натоварване се прилага в пълната си големина 30 min преди огневото изпитване с цел изконсумиране на първоначалното провисване - до постоянен отчет от флексиметъра.

#### *Пещ*

Пещта, на която са проведени натурните експерименти, е с размери 1,55/1,55/1, m и осигурява стандартни условия за огнева експозиция. В нея са монтирани две двустепенни нафтови горелки от типа „Комета –20” с максимален разход 20 l/h.

### *Определяне големината на опитното натоварване*

Определянето на опитното натоварване е разгледано в точка III.1.2.

### *Температурно въздействие и контрол*

Успоредно на силовото въздействие, ДПК се подлага и на температурно. То се реализира съгласно закона I.1.

Максимум 5 min преди началото на експеримента началните температури, отчетени от всички термодвойки, се проверяват за да се установи тяхна годност и да се определят стойности за сравнение. Началната температура, отчетена от температурата на термодвойките в пещта, е равна на  $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Началото на изпитването съответства на момента, в който един от ТЕ в пещта превиши  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Времето се засича от този момент и всички ръчни и автоматични системи за измерване и наблюдение започнат да функционират или вече са задействани.

### *Определяне на огненепроницаемостта чрез памучен тампон и калибри за отвори*

За определяне на огненепроницаемостта се използват памучен тампон и два вида калибри за отвори.

### *Критерии за приключване на опита*

Трите нормирани основни гранични състояния „R”, „E” и „I”, проектно обезпечаващи огнеустойчивостта на дървената конструкция, са детайлизирани и успоредно с това са разгледани критериите за тяхното определяне в глава трета от дисертационния труд.

## **Раздел V**

### **Изводи от глава трета**

- 1) За първи път в България са извършени изпитвания на опитни образци на ДПК в условията на стандартно огнево въздействие и нормативно натоварване.
- 2) В разработената методиката (съобразена с нормативните документи БДС EN 1363 – 1 [60] и БДС EN 1365 – 2 [61]) за провеждане на експерименти, детайлно е описано адаптирането на постоянното и временното натоварване за реалната подова конструкция към експерименталните натурни образци. Методиката отчита неточностите в напречните размери на носещите греди, така че експерименталните ръбови напрежения да съответстват по големина и знак на реалните.
- 3) По експериментален път е установено, че границата на огнеустойчивост е достигната по критерия E (цялостност) на 34 min, при което критериите R (носимоспособност) и I (топлинна изолация) не са достигнати. Тази констатация е важна, за евакуацията на пребиваващите хора в сградата и последващите мерки за пожарна безопасност.
- 4) Експериментите с натурни образци показват повтаряемост на резултатите -

първият натурен образец достигна гранично състояние по загуба на непроницаемост на 34 минута след началото на експеримента, а вторият - на 33,5 min. Това дава основание изследваната ДПК съгласно БДС EN 13501–2 да се отнесе по показателя огнеустойчивост към клас REI 30.

- 5) Повтаряемост съществува и при резултатите получени за максималното отместване в средата на натурните образци, съответно - за първия  $f = 2,2$  cm и за вторият  $f = 2,53$  cm. Изменението на провисването в средата на НО се описва с крива получена от експерименталните усреднени резултати, която се доближава до линейна зависимост.
- 6) Критерият Е е меродавен и при малките образци-пакети. В този случай загубата на непроницаемост – Е е настъпила на 52 min. При тях появата на дим е аналогична както при големите образци, но в по-малки количества като критерият Е е достигнат в резултат на пламъчно горене откъм ненагрялата повърхност.

**Заключение.** Практическата полза от създадената методика се заключава в относително евтините експериментални изследвания, а резултатите благодарение на своята повтаряемост, могат да бъдат ограничени до два паралелни опита. Когато възникнат съществени различия между тях, се провежда трети контролен опит.

Изготвената методика е съобразена с нормативните документи БДС EN 1363 – 1 [60] и БДС EN 1365 – 2 [61] и е необходима за правилното провеждане на бъдещи експериментални изследвания, свързани с определяне границата на огнеустойчивост на ДПК. Проведените експерименти, които бяха съобразени с нея, потвърдиха теоретичните резултати от втора глава.

Границата на огнеустойчивост за конкретната ДПК се достига със загубата на цялостност, поради което съществува хуманен риск от продуктите на горенето.

### **Приноси**

- 1) Експериментално е определена границата на огнеустойчивост на конкретна ДПК в условията на стандартно огнево въздействие, като е класифицирана по отношение на огнеустойчивост с REI 30.
- 2) Получени са конкретни резултати за изменението на температурното поле в натурните и малките (извадки от ВК на ДПК) опитни образци.
- 3) Получени са конкретни данни за провисването в натурните образци от ДПК.
- 4) Създадена е методика за експериментално определяне на границата на огнеустойчивост на ДПК при стандартно огнево въздействие и натоварване.

## Г Л А В А Ч Е Т В Ъ Р Т А

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕМПЕРАТУРАТА НА САМОЗАПАЛВАНЕ НА БОРОВА И ДЪБОВА ДЪРВЕСИНА, ДИМООБРАЗУВАЩАТА ИМ СПОСОБНОСТ И ОЦЕНКА НА ТОКСИЧНОСТТА НА ПРОДУКТИТЕ ОТДЕЛЯНИ ПРИ ТЯХНОТО ТЛЕЕНЕ

#### Раздел I

#### Определяне на термодинамичните периоди на samozапалване на борова и дъбова дървесина

Изследването е проведено с тестовия прибор „пещ на Грюер“ фиг.IV.1.



Фигура IV.1.  
Пещ на Грюер

Приборът се използва за определяне температурата на начало на екзотермична реакция на склонните към samozапалване прахове.

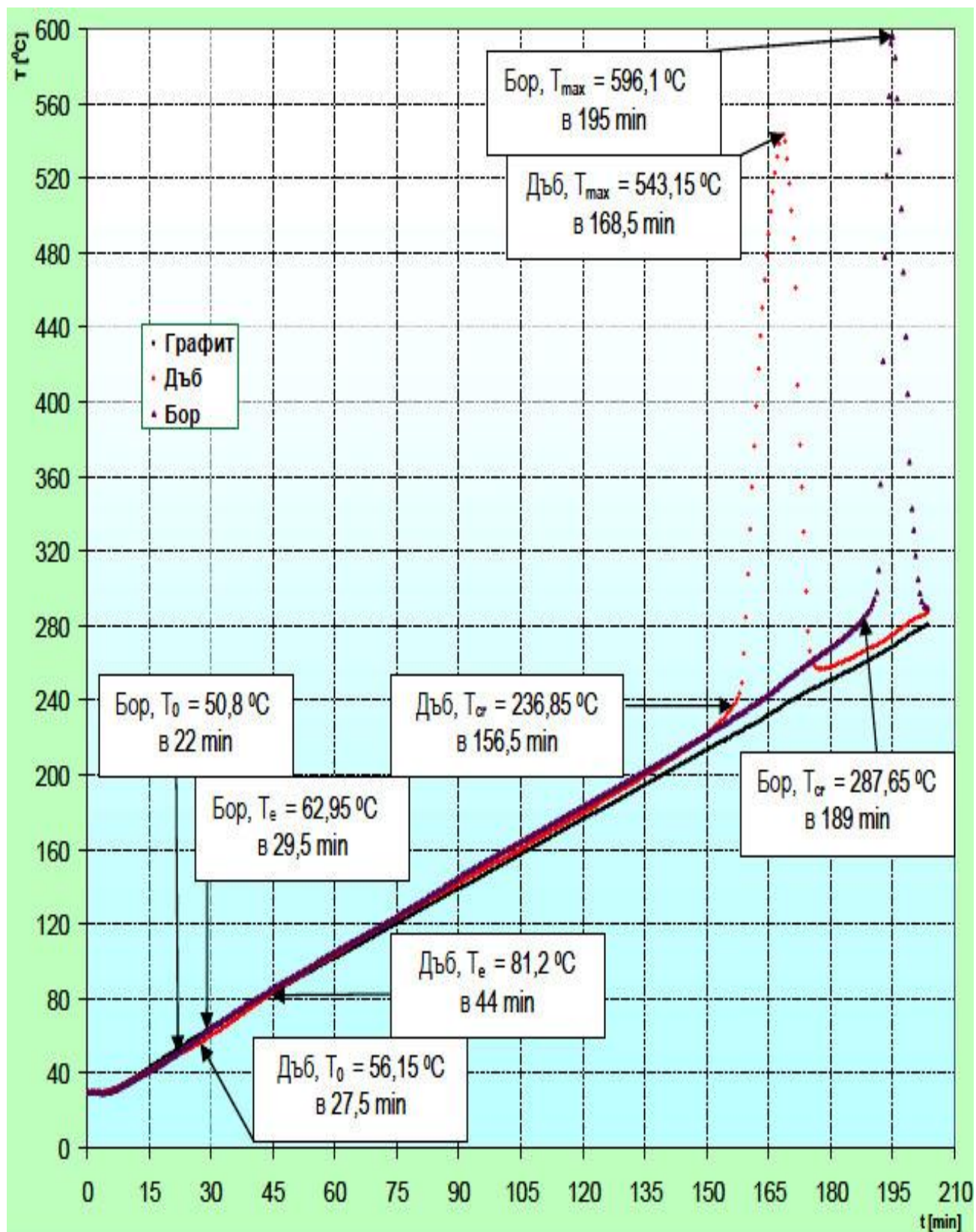
Изследването беше насочено към намаляване (редуциране) на опасността от samozапалване в зависимост от стадия на развитие на процеса при риск от разрастване на съществуващ пожар. То има отношение към помещения, изградени с носещи дървени елементи, или такива със складиран дървен материал (мазета, тавански помещения или подпокривни пространства), в които няма индикация за възникнало пожарно огнище, но през които преминава нагорещена газовъздушна смес (флуид) от съществуващ пожар.

При пожар се създават условия за екзотермично разлагане на дървесината, при което отделящата се от нея топлина, не се разсейва достатъчно бързо в околната среда. Този процес води до самонагриване, а след това и до samozапалване, което настъпва, когато скоростта на топлопроизводство е по-висока от скоростта на топлоотделяне.

Температурата на samozапалване на дървесината се движи в широки граници от 330 до 470 °C и целта на проведеното изследване беше да се осигури предварителна информация за периодите на samozапалване на дъбова и борова дървесина при повишаване на температурата с постоянна скорост.

#### Резултати от изследването

Наблюдават се шест периода в зависимост от скоростите на изменение на температурата на изследваната дървесина и на еталона графит: период на темпериране, период на изпарение на влагата, период на стационарно нарастване на температурата, период на samozапалване, период на безпламъчно горене и период на забавено догаряне. Те подробно са разгледани в глава четвърта на дисертационния труд. Граничните температури, разделящи тези периоди, са показани на фиг.IV.2.



Фигура IV.2. Реперни температури

## Раздел II

### Определяне на димообразуващата способност на борова и дъбова дървесина

Показателят, характеризиращ димообразуващата способност на веществата, е *коефициента на димообразуване* -

$$D_{\Delta m} = \frac{V}{\Delta m \cdot L} \cdot \ln \frac{E_0}{E_{\min}} \left[ \frac{m^2}{kg} \right], \quad (IV.1)$$

където:

- $\Delta m = m_1 - m_2$ ;
- $m_1$  - масата на пробата преди опита, kg;
- $m_2$  - масата на пробата след опита, kg;
- $V$  - обем на камерата в  $m^3$ ;
- $L$  - разстояние между източника на светлина и фотодиода в m;
- $E_0$  и  $E_{\min}$  са началното и минималното напрежение на тока в измервателната верига на фотодиода, mV.

След заместване в IV.1 на стойностите за: обема на камерата, дължината на светлинния лъч и натуралния логаритъм с десетичен, масовата оптическа плътност (МОП) на димния аерозол се определяше съгласно трансформираната формула IV.1' -

$$D_{\Delta m} = \frac{0,75}{\Delta m \cdot 10^{-3}} \cdot 2,3 \lg \frac{E_0}{E_{\min}} \text{ m}^2/\text{kg}. \quad (IV.1')$$

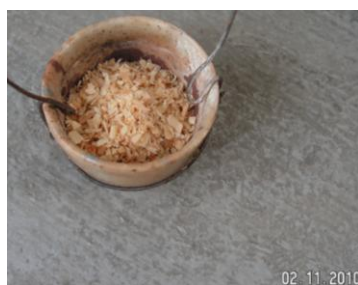
За определяне на оптическата плътност на дима се използва фотометрична система, показана на фиг.IV.3.



Фигура IV.3. Фотометрична система

Същността на метода се заключава в регистрация на отслабването на осветеността при преминаване на светлина през задименото пространство.

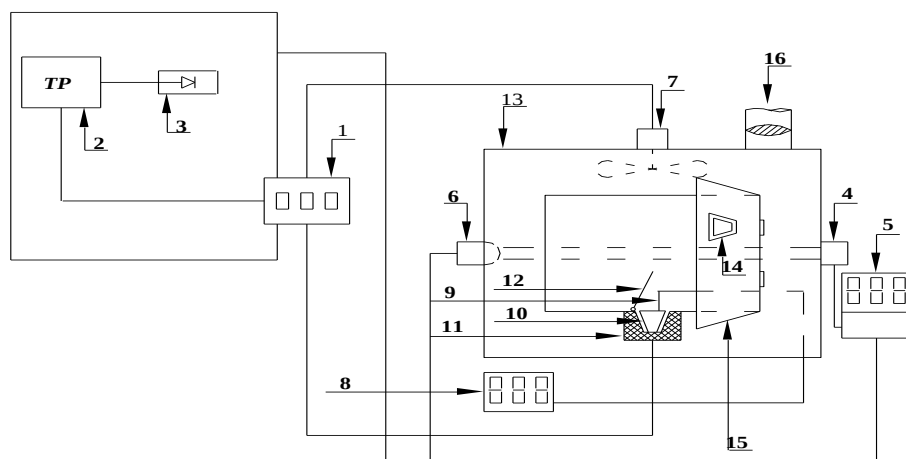
## Провеждане на изпитването



Фигура IV.4. Проби от борова дървесина преди и след експеримента

дъбова дървесина и токсичността на продуктите, отделени при тлеенето на пробите (фиг.IV.4.).

Масовата оптическа плътност на дима се използва за технически изчисления, свързани с пожарната безопасност. В “Научно приложния институт по пожарна безопасност и спасяване – МВР” бяха проведени експерименти с цел определяне на МОП на димния аерозол, генериран от стружки на борова и



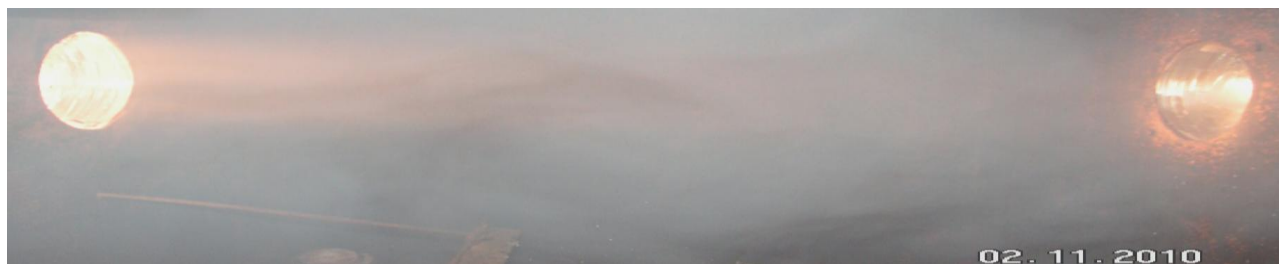
Фигура IV.5. Експериментален стенд за определяне на МОП на димния аерозол

1 – захранване 220 V; 2 – трансформатор; 3 – стабилизатор на напрежение; 4 – фотодиод; 5 – мултиметър; 6 – светлинен източник (лампа); 7 – вентилатор; 8 – цифров термометър; 9 – термодвойка; 10 – тигел; 11 – пещ; 12 – защитен екран; 13 – камера; 14 – прозорче за наблюдение; 15 – вратичка; 16 – димоотвод с клапа;

Масовата оптическа плътност на дима се определяше на експерименталния стенд показан на фиг.IV.5.

Пробите се нагряваха до температура на samozapalvane (тлеещо безпламъчно горене) и обемът на камерата се запълваше с димен аерозол, като оптическата плътност на средата се увеличаваше, т.е. намаляваше интензивността на

светлинния поток, падащ върху фотодиода (фиг.IV.6.).



Фигура IV.6. Намалена интензивност на светлинния лъч от задимяване

Минималното напрежение  $E_{\min}$  се отчиташе на милivolтметъра в края на горенето за всяка от пробите, след което камерата се вентилираше до пълното изсмукване на димния аерозол (виж фиг.IV.5.).

#### Обработка на получените опитни резултати

В практиката  $V_{is}$  обикновено се получава от десетократната реципрочна стойност на OD:

$$V_{is} = \frac{10}{OD} [m], \quad (IV.3)$$

където OD е оптичестката плътност,  $dB \cdot m^{-1}$ .

Прилагайки подобен подход  $V_{is}$  може да се определи и от израза:

$$V_{is} = \frac{1}{OD} [m]. \quad (IV.3')$$

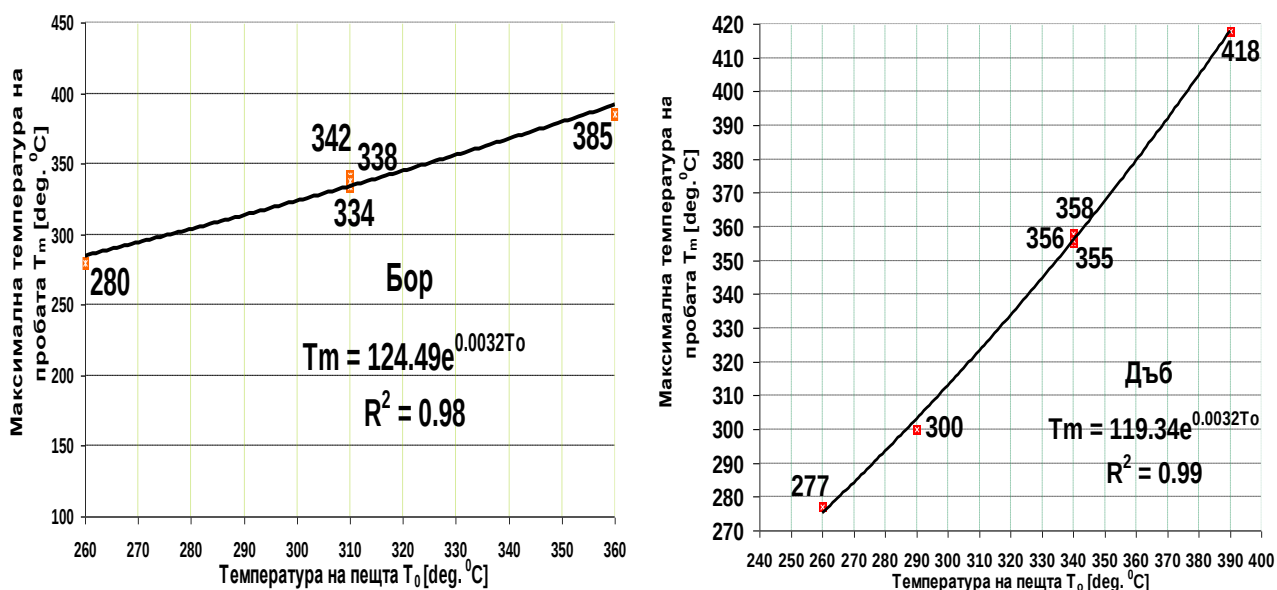
Оптичестката плътност OD  $m^{-1}$  от IV.3' се определя от формулата -

$$OD = POD \times C_m, \quad (IV.4)$$

където:

- ⇒ POD е оптичестката плътност на частицата,  $m^2/kg_{\text{сажди}}$ ;
- ⇒  $C_m$  е масовата концентрация на сажди в дима,  $kg_{\text{сажди}}/m^3$ .

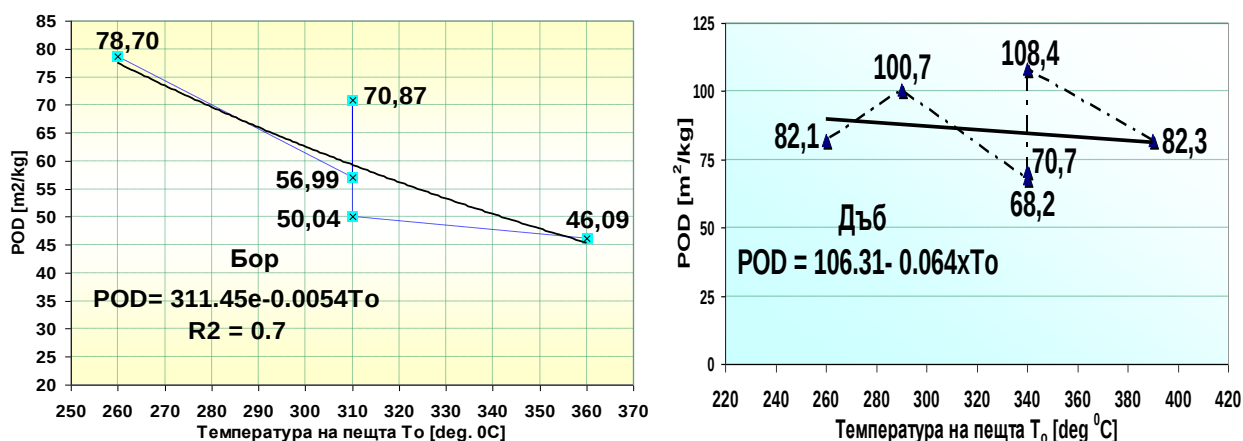
Настоящото изследване беше съобразено с еквивалентността на понятията - масова оптичестка плътност на дима и оптичестка плътност на частицата ( $D_{\Delta m} = POD$ ). Получените данни от експериментите, бяха обработени математически и окончателните резултати са показани на фигури IV.7., IV.8. и IV.9.



Фигура IV.7. Изменение на максималната температура за проби от бор и дъб

Максималната температура  $T_m = 385\text{ }^{\circ}\text{C}$  в пробата на бора е постигната при температура в пещта  $T_0 = 360\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а при дъба тези показатели са съответно  $T_m = 418\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $T_0 = 390\text{ }^{\circ}\text{C}$  (виж фиг.IV.7.).

Максималната масова оптическа плътност на частицата при бора е  $POD_{\text{Бор}} = 78,70\text{ m}^2/\text{kg}$  и се получава при температура в пещта  $T_0 = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а съответният максимален показател за дъба  $POD_{\text{Дъб}} = 108,4\text{ m}^2/\text{kg}$  се постига при температура в пещта  $T_0 = 340\text{ }^{\circ}\text{C}$  (фиг.IV.8).

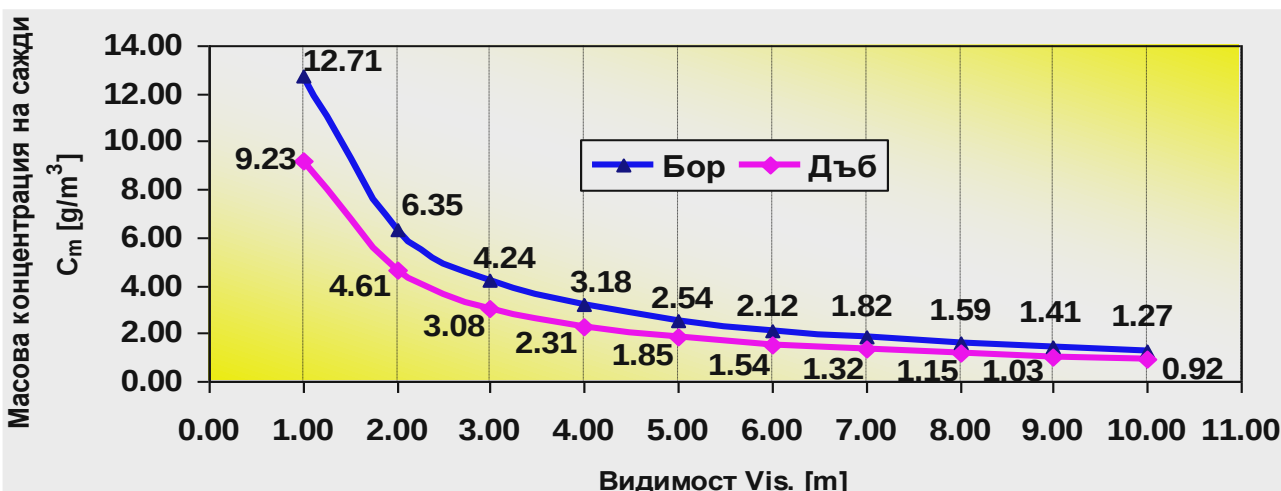


Фигура IV.8. Изменение на оптическата плътност на частицата за проби от бор и дъб

За максималните стойности на POD при двата вида дървесина ( $\max POD_{\text{Бор}} = 78,7\text{ m}^2/\text{kg}$  и  $\max POD_{\text{Дъб}} = 108,4\text{ m}^2/\text{kg}$ ) бяха построени графиките, показани на фиг.IV.9.

Минималната видимост от един метър се постига при масова концентрация на сажди в дима, за:

- ⇒ бор  $C_m = 12,71\text{ g/m}^3$ ,
- ⇒ дъб  $C_m = 9,23\text{ g/m}^3$ .



Фигура IV.9. Определяне на  $V_{is}$  за съответни стойности на  $C_m$

**Съществува лесен и практичен начин за ориентация в условия на силно задимени евакуационни пътища. За случая се препоръчва използването на обикновен лазерен показалец, с който потърпевшият надеждно може да открие първо „водещата стена“ на коридора, а след това и евакуационният изход.**

### Раздел III

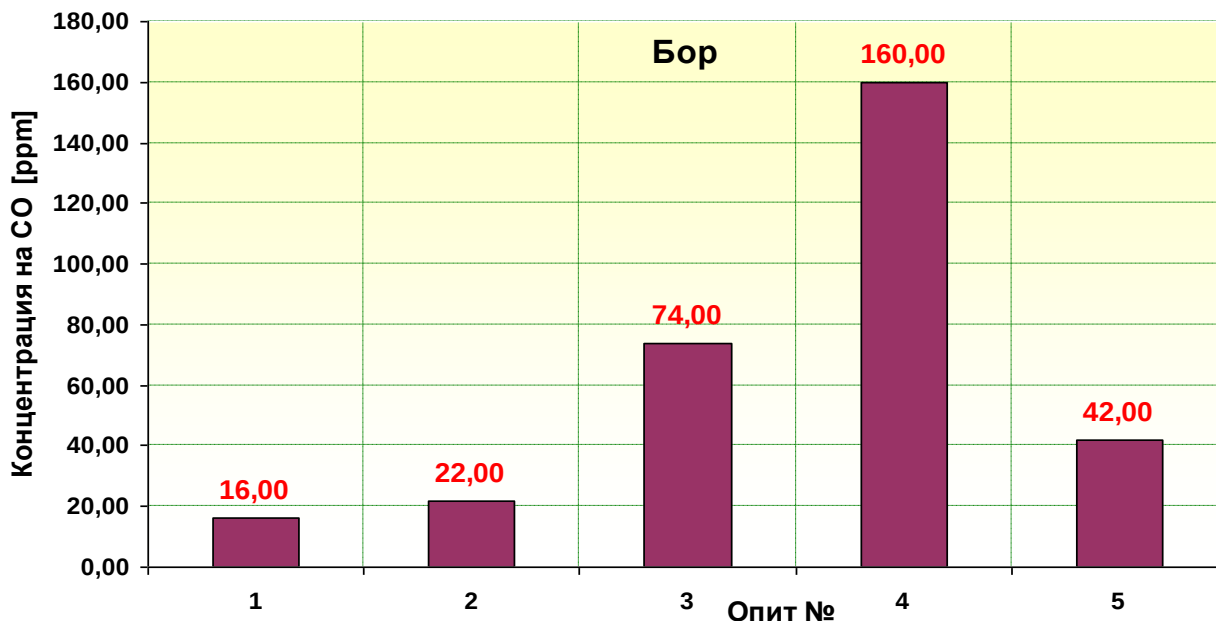
#### **Оценка за токсичността на продуктите отделяни при тлеене на борова и дъбова дървесина**

Димът отделян при пожар съдържа токсични газове, които могат да доведат до смъртен изход, ако дълго време изложеният на него човек е незащитен. В някои случаи и кратковременното отсъствие на защита може да има летален изход.

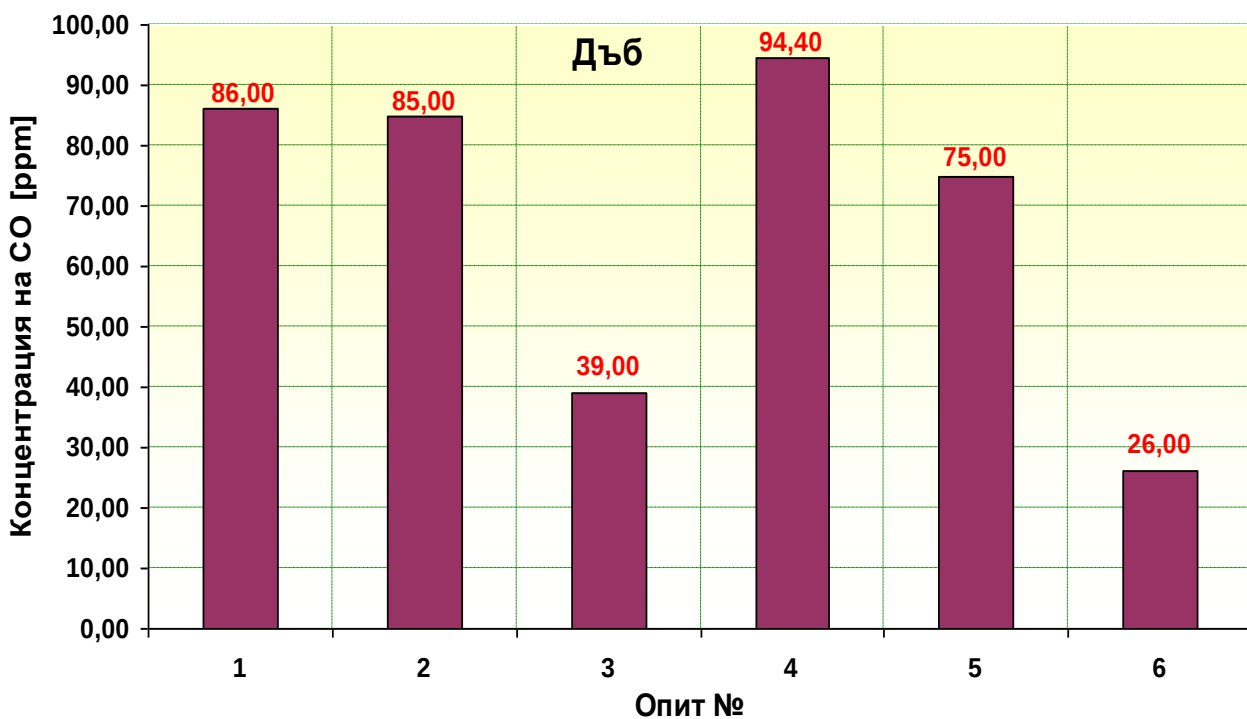
Въглеродният диоксид е задушлив и слабо отровен газ. Той се отделя в значителни количества при горене.

**Основно токсично вещество при горенето на дървесина и целулозни материали се явява CO [64].**

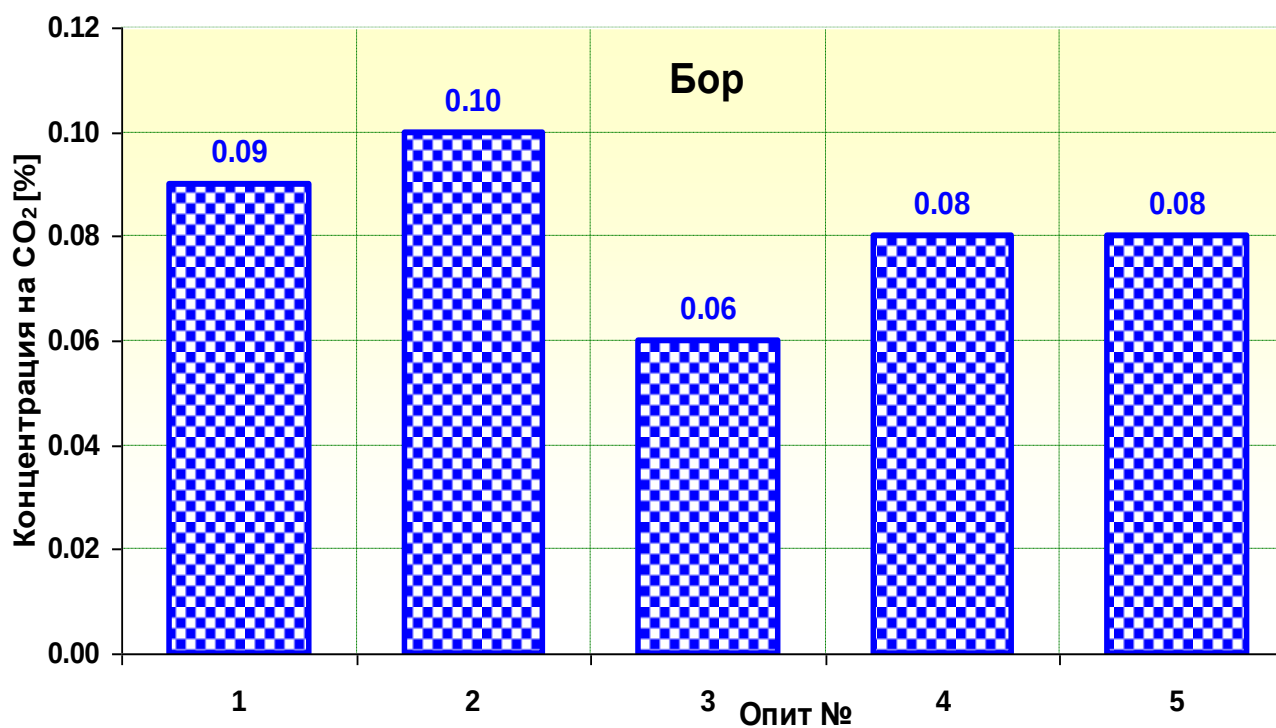
Бяха извършени експерименти в „Научно приложния институт по пожарна безопасност и спасяване – МВР“ за оценка на токсичността на продуктите отделяни в камерата, при тлеене на борова и дъбова дървесина. Резултатите от тях са показани на фигури IV.10., IV.11., IV.12. и IV.13.



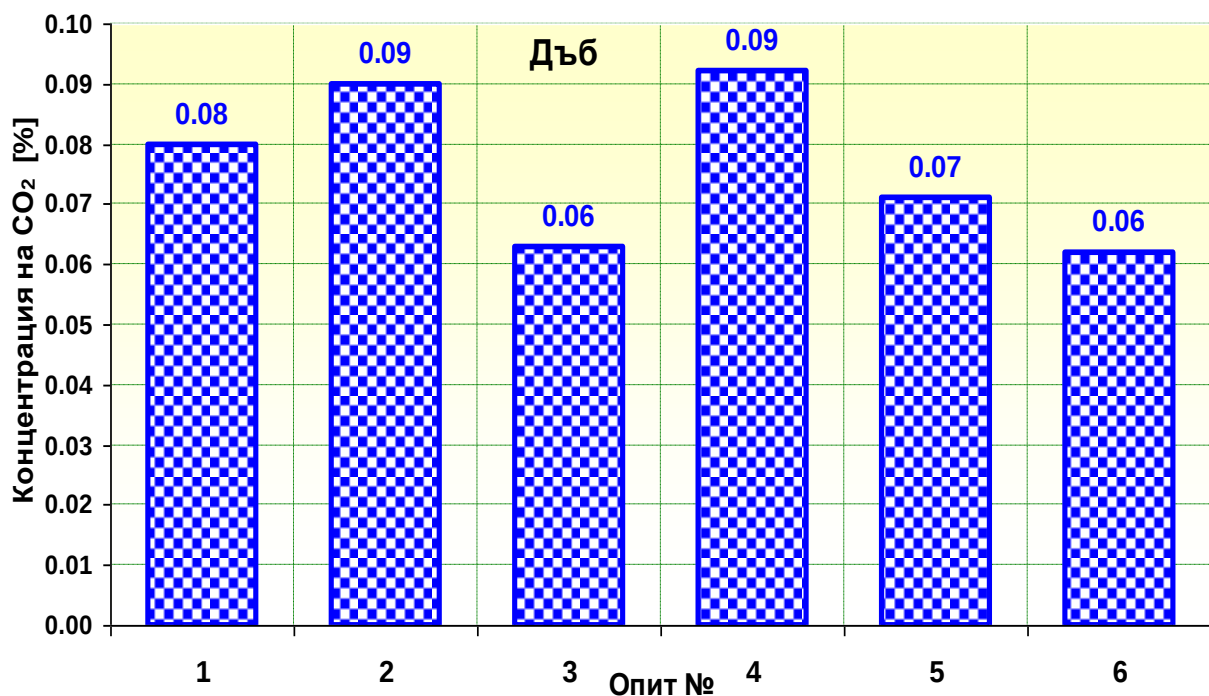
Фигура IV.10. Определяне концентрацията на CO при тлеене на борова дървесина, ppm



Фигура IV.11. Определяне концентрацията на CO при тлеене на борова и дъбова дървесина, ppm



Фигура IV.12. Определяне концентрацията на CO<sub>2</sub> при тлеене на борова дървесина, %



Фигура IV.13. Определяне концентрацията на CO<sub>2</sub> при тлеене на дъбова дървесина, %

Комисия за безопасност на потребителските продукти на САЩ (CPSC), препоръчва всеки дом да има най-малко една алармена сигнализация (детектор) за наличие на CO, която отговаря на последните изисквания формулирани в (UL 2034), като същата да бъде позиционирана в спалното помещение на дома. В същия доклад се препоръчва да се профилактират дымоотводите в сградата по отношение надеждност и изправност, както и проверката на всички топлинни уреди в същите насоки [70].

Тенденциите за преминаване от индустриалното (урбанизацията налага масовото строителство на жилища) към индивидуалното строителство, придобиват реални измерения и за България. През последните години в големите градове се наблюдаваше бум на жилищното строителство, вследствие на което се допусна презастрояване (излишек от апартаменти). Съвременният жител у нас би предпочел едофамилната дървена къща, пред унифицирания апартамент от безличното блоково пространство.

Пожарната безопасност на дървената къща (особенно когато в нея има изградена камина) е свързана с наличие в нея на датчици за CO, както и с пожароизвестителна система за оповестяване.

В жилищата (особенно в тези в които има топлинни източници на твърдо гориво) у нас, е необходимо нормирането на броя и местоположението на датчици за наличие на CO свързани със звукова и светлинна сигнализация, както и с пожароизвестителна система за оповестяване, когато обитаемите пространства са на няколко етажа.

## Раздел IV

### Димозащита

По-голяма част от пораженията на хората при злополуки в подземни тунели са последица от вдишването на дим. Същият извод, но в по-висока степен (повече от 2/3 от пострадалите) важи и за хуманните последици от пожари във високи сгради и такива в помещения за масово пребиваване на хора.

След терористичните актове на 11 септември в САЩ остро се дискутира проблемът как да се осигури индивидуална защита на бедстващия при пожари, взривове, химически и биологични въздействия.



Фигура IV.14. Защитна качулка на Drager - в удобна чантичка за носене и е лесна за употреба

Drager и Parat C са фирми с традиции в създаването на индивидуални средства за защита. Те предлагат на пазара „защитни качулки“ фиг.IV.14. отговарящи на следните изисквания:

- да са лесни за употреба;
  - да нямат различни размери;
  - да осигуряват защита на дишането, толкова продължително колкото е необходимо за излизане от задимена среда или намиране на път за евакуация;
- през време на защитното действие да не се натрупва опасно съдържание на въглероден двуокис под качулката;
  - да не ограничават зрителното поле на самоспасяващия се човек;
  - да е удобно за носене в обичайните дрехи.

Индивидуалното средство за защита (защитната качулка на Drager или Parat C – виж фиг.IV.14.) трябва да бъде винаги „под ръка“ в голямите хотели, молове и др. - навсякъде където съществува масово пребиваване на хора.

## Раздел V

### Изводи от глава четвърта

- 1) За първи път у нас са проведени лабораторни изследвания с тестовия прибор „пещ на Грюер“ за определяне на термодинамичните периоди на samozапалване на дъбова и борова дървесина, при повишаване на температурата с постоянна скорост. Определени са пет характерни

(реперни) температури, обособяващи етапите на развитие на процеса на самонагриване до самозапалване, на борова и дъбова дървесина.

- 2) Проведени са експериментални изследвания с образци от борова и дъбова дървесина, с цел определяне на оптичестката плътност на частицата POD. Получените експериментални резултати са използвани за определяне на видимостта посредством графиките от фиг.IV.9.
- 3) Предложено е достъпно средство за ориентация по евакуационните пътища при силно задимяване.
- 4) Проведени са експерименти с опитни образци за определяне на добива на CO и CO<sub>2</sub> при тлеене на борова и дъбова дървесина с цел оценка на токсичността на отделяните продукти. Получените резултати могат да бъдат използвани за калкулиране на хуманния риск при пожари в сгради с дървени конструкции.

### Приноси

- 1) За първи път у нас са получени конкретни стойности за –

$T_E$  – относителната начална температура на самонагриване на борова и дъбова дървесина:

$$\blacksquare T_E^{Бор} = 62,95 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\blacksquare T_E^{Дъб} = 81,2 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$T_{cr}$  - температурата на самозапалване на борова и дъбова дървесина:

$$\blacksquare T_{cr}^{Бор} = 287,65 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\blacksquare T_{cr}^{Дъб} = 236,85 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

като данните за  $T_{cr}$  могат да служат за определяне на началото на замърсяване на атмосферата с продуктите на тлеенето.

- 2) Предложен е графичен начин за определяне на видимостта във функция на масовата концентрация на сажди в дима предизвикан от продуктите на тлеене на боровата и дъбовата дървесина.
- 3) Предложен е лесен начин за ориентация по задимени евакуационни пътища.
- 4) Определен е добивът от CO и CO<sub>2</sub> при тлеене на борова и дъбова дървесина.
- 5) Предложено е нормирането на датчици за CO със звукова и светлинна сигнализация в жилище с отопление на твърдо гориво (например наличие на камина или печка на дърва).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Резултатите от проведената изследователска работа в дисертацията могат да бъдат обобщени в следната последователност:

- 1) Комплексно са анализирани различни видове ДПК, направени са съответните изводи и е избрана конструктивната схема – гредореден таван.
- 2) Извършено е проектиране на избраният вид ДПК.
- 3) Съгласно българската методика е определена границата на огнеустойчивост на проектираната ДПК и същата е категоризирана по показателя „R” [8].
- 4) Определена е границата на огнеустойчивост на проектираната ДПК по двете нормирани европейски методики:
  - a. метод на намаленото напречно сечение [13];
  - b. метод на редуцираните характеристики [13].
- 5) Извършена е съпоставка между българската и европейските методики.
- 6) Анализирани са границите на огнеустойчивост на дървени подпокривни греди с цел хармонизация на нашето законодателство с европейското. Аналитичните резултати (експерименталните данни са взети от [59]) са получени съгласно: българската методика и двата инженерни подхода дефинирани в EN 1995-1-2.
- 7) Предложени са четири алтернативни конструктивни решения (виж приложение D) на проектираната ДПК, които повишават нейната огнеустойчивост [13].
- 8) Проведени са изпитания с два броя натурни опитни образци на ДПК в условията на стандартно огнево въздействие и нормативно натоварване. От тези експерименти е установено, че границата на огнеустойчивост е достигната по критерия E (цялостност) докато критериите: R (носимоспособност) и I (топлинна изолация) не са достигнати. Тази констатация е важна, за евакуацията на пребиваващите хора в сградата и последващите мерки за пожарна безопасност.

Експериментите с натурни опитни образци показват повтаряемост на получените резултати за загуба на непроницаемост:

- a. първият образец постига критерия E на 34 минута след началото на експеримента;
- b. вторият постига същият критерий на 33,5 min. Това дава основание изследваната ДПК съгласно БДС EN 13501–2 да се отнесе по показателя огнеустойчивост към клас REI 30.

Повтаряемост съществува и при резултатите получени за максималното

отместване в средата на натурните образци:

c. за първият  $f = 2,2$  cm;

d. за вторият  $f = 2,53$  cm.

9) Проведени са изпитания и с три броя пакети (извадки от ВК на ДПК), които са подложени само на огнево въздействие. При пакетите, критерият Е е постигнат в резултат на пламъчно горене откъм ненагрятата повърхност на 52 min от началото на експеримента. При тях появата на дим е аналогична както при натурните образци, но в по-малки количества.

10) Разработена е методика (съобразена с нормативните документи БДС EN 1363 – 1 [60] и БДС EN 1365 – 2 [61]) за провеждане на експерименти с опитни образци от ДПК. В нея се адаптират постоянното и временното натоварване за реалната подова конструкция към тези, за експерименталните натурни образци. Методиката отчита също и неточностите в напречните размери на носещите греди, така че експерименталните ръбови напрежения да съответстват по големина и знак на реалните.

Експериментите с натурните опитни образци са извършени съгласно разработената методика.

Границата на огнеустойчивост за конкретната ДПК се достига със загубата на цялостност, поради което съществува хуманен риск от продуктите на горенето.

11) За първи път у нас са проведени лабораторни изследвания за определяне на термодинамичните периоди на samozапалване на дъбова и борова дървесина, при повишаване на температурата с постоянна скорост с тестовия прибор „пещ на Грюер“. Определени са пет характерни температури, разделящи развитието на процеса на самонагриване на шест етапа.

12) Проведени са експерименти с опитни образци от борова и дъбова дървесина, с цел определяне на оптичестката плътност на частицата  $POD$ . Получените експериментални резултати са използвани за определяне на видимостта посредством графиките от фиг. IV.20.

13) Предложен е лесен начин за ориентация по евакуационните пътища при силно задимяване.

14) Проведени са експерименти с опитни образци за определяне на добива на  $CO$  и  $CO_2$  при тлеене на борова и дъбова дървесина с цел оценка на токсичността на отделяните продукти. Получените резултати могат да бъдат използвани за калкулиране на хуманния риск при пожари в сгради с дървени конструкции.

## **ПРИНОСИ**

*В резултат на извършеното проучване са направени следните предложения за промяна на нормативната база, свързана с използване на ДПК:*

1. Минимално допустимата видимост по евакуационните пътища е препоръчително да бъде 5 m [12]. Предлагам последното изискване да залегне в „Наредба №13-1971/2009 за строителнотехнически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар”.
2. В „Наредба №13-1971/2009 за строителнотехнически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар” да се заложи оценка на хуманния риск от токсичността на продуктите отделяни при пожар.
3. Необходимо е нормирането на броя и местоположението в жилището на датчици, свързани със звукова и светлинна сигнализация, както и с пожароизвестителната система за оповестяване. Препоръчва се в спалното помещение на всеки дом, да има алармена сигнализация за СО, особено ако в дома (например еднофамилна дървена къща) има вградена камина или печка на твърдо гориво (например на дърва).

## **НАУЧНИ НОВОСТИ**

1. Разработена е методика, за експериментално определяне на границата на огнеустойчивост на ДПК в условията на стандартно огнево въздействие и натоварване.
2. Получени са конкретни стойности на  $T_{cr}$  - температурата на самозапалване на борова и дъбова дървесина по метода на Грюер:

$$- T_{cr}^{Бор} = 287,65 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$- T_{cr}^{Дъб} = 236,85 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

които могат да служат за определяне на началото на замърсяване на атмосферата с продукти на тлеенето.

## **ОСНОВНИ ПРАКТИЧЕСКИ РЕЗУЛТАТИ**

1. Разглежданата работа с резултатите си обогатява теоретико-експерименталната база за проектирането на ДПК.
2. Разширяването на експерименталните изследвания на нови видове дървени подови конструкции, трябва да бъде съобразено с конкретни изводи от проведените опити с ДПК:
  - изолацията на дюшето (подовото покритие) срещу инфилтрация на продукти на горенето ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и др.) в помещението над пожара;
  - създаване на по-високо от атмосферното налягане (последством вентилационната система) в лабораторията за експерименти, с цел елиминиране опасностите от задимяване за провеждащите експеримента.
3. Предложен е бърз и лесен начин за определяне на видимостта при максимална стойност на оптичестката плътност на частицата получен от проведени изследвания при тлеене на борова и дъбова дървесина.
4. Предложен е практичен начин за ориентация по задимени евакуационни пътища.

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗА БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА**

1. *Експериментално определяне границата на огнеустойчивост за алтернативните решения показани на фиг.D.1. от приложение D.*

Границата на огнеустойчивост за изследваната ДПК, настъпва по загуба на непроницаемост на 34-тата min поради липса на херметичност на ВК. Подобряването на този показател може да се реализира чрез съчетание на дюшето или дъсчената настилка с подовото покритие предлагано от RIGIPS (виж фиг.C.6. от приложение C на дисертационния труд [25]).

2. *Експериментално определяне границата на огнеустойчивост на ДПК с ЛДГ.*

Лепените дървени греди в съчетание с подходящи облицовъчни материали (шперплат, минерална вата, гипсокартон и др.), са перспективно направление в строителното производство.

3. *Изследване изменението на температурното поле във височина и определяне границата на огнеустойчивост на ДПК с ЛДГ армирани с карбонени влакна (CF).*

Карбонените влакна са органичен полимерен продукт (влакната и лепилото, са с минерален или нефтен произход) и имат диаметър между 12 и 15  $\mu\text{m}$ . Те имат много високи механични показатели, като опънна якост, модул на линейна деформация и добре се съпротивляват на ударно натоварване. Устойчиви са на химическо и огнево въздействие.

4. *Калкулиране на хуманния риск при пожар в сграда с дървени лепени и армирани с CF греди.*

## *Използвана литература*

### *В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД*

- [1] Драйздейл, Д Введение в динамику пожаров, Москва, Стройиздат, 1990, с. 417.
- [2] Делев, К. Дървени строителни конструкции основи за проектиране, ABC Техника, С., 2007
- [3] Делев, К. Огнестойчивост и огнезащита на строителни конструкции, ABC Техника, С., 2000
- [4] <http://www.sustainablehomes.co.uk/upload/publication/Timber%20Frame%20Housing.pdf>
- [5] Попов, А. Архитектурни конструкции. ДИ "Техника", С., 1972.
- [6] Чуканов, Сп., Карадех, Л., Проектиране на едно – и двуетажни жилищни сгради. Годишник на УАСГ, С., 2005 - 2006.
- [7] <http://www.nortop.com>
- [8] Тодоров, И. и др. Пожароустойчивост и пожарозащита на строителни конструкции, С., 1998, с. 308.
- [9] Шишкин, В. Деревянные конструкции. М., 1954
- [10] Делев, К. Дървени строителни конструкции. Проектиране и оценка за пожарно състояние, ABC Техника, С., 2004
- [11] Норми за проектиране на дървени конструкции. Библиотека на проектанта, строителя и инвеститора, книга 5, Блестящ факел, 2003г.
- [12] Батчер, Е., Парнэлл, А. Опасность дыма и дымозащита, М., Стройиздат, 1983.
- [13] EN 1995-1-2-2004
- [14] PD 7974 -1:2003
- [15] <http://www.up.ac.za/academic/civil/divisions/structures/studyguides/sib310/Connections.pdf>
- [16] <http://www.awc.org/Publications/dca/dca2/DCA2.pdf>
- [17] Грушевски, Б., В., и др. Пожарна профилактика в строителството. Москва – 1985, с. 451
- [18] Ройтман, М., Противопожарное нормирование в строительстве. Стройиздат, М., 1985.
- [19] Карлсен, Г., Г. Деревянные конструкции, Москва, 1952.
- [20] [http://www.copertureinlaterizio.it/COP/UserFiles/File/BIBLIOTECA/57\\_226\\_29.pdf](http://www.copertureinlaterizio.it/COP/UserFiles/File/BIBLIOTECA/57_226_29.pdf)
- [21] <http://www.armalam.it/wp-content/uploads/International/armalaminglese.pdf>
- [22] Бартелеми, Б., Ж. Крюппа, Огнестойкость строительных конструкций. М., Стройиздат, 1985, с.216
- [23] Тотев, И., и др., Отчет на тема ТМ 359/93 "Пожароустойчивост на дървени конструкции". Национален фонд "Научни изследвания", С., 1995
- [24] EN 1995-1-1-2004
- [25] <http://www.rigips-bg.com/>
- [26] Rasbash, D.J., Phillips, R.P. Quantification of smoke produced evolution. Fire and materials. 1978. 2, 102-109.
- [27] Jin T. (1970) Visibility through fire smoke. Building Research Institute, Tokyo, Report No. 30, March 1970 and Report No. 33, February 1971
- [28] [http://vsk24.com/publ/stroitelnye\\_raboty/specialnye\\_raboty/ognestojkost\\_derevjannykh\\_konstrukcij/20\\_1-0-32](http://vsk24.com/publ/stroitelnye_raboty/specialnye_raboty/ognestojkost_derevjannykh_konstrukcij/20_1-0-32)
- [29] <http://www.krivorukih.net/index.php?id=1471>
- [30] <http://www.derewo.ru/?p=14&t=158>
- [31] <http://www.ka6tata.com/realizacii/sglobiaema-kashta/article/682>
- [32] [http://www.nortop.com/downloads/nordika\\_kashta.pdf](http://www.nortop.com/downloads/nordika_kashta.pdf)
- [33] <http://www.nortop.com/engineering.php?id=7&lang=bq>
- [34] <http://oupbnz-silistra.alle.bg/информация/характеристика-на-пожара/>
- [35] <http://www.promat-tunnel.com/en/hydrocarbon-hcm-hc-rabt-rws.aspx>
- [36] [http://en.wikipedia.org/wiki/Fire-resistance\\_rating](http://en.wikipedia.org/wiki/Fire-resistance_rating)
- [37] Михайлов, М. и др. Дихателна и топлинна защита, С., 2009 г., с. 235
- [38] NFT 20-036 [Sept 85]. Chemical products for industrial use. Determination of the relative temperature of the spontaneous

flammability of solids.

- [39] Крилчев, А., М. Михайлов, 2010. *Изследване на термодинамичните периоди на samozапалване на въглища* Сборник с доклади II-ра Национална научно-техническа конференция, гр. Девин
- [40] [http://www.copertureinlaterizio.it/COP/UserFiles/File/BIBLIOTECA/Articoli/Tecnologia/57\\_226\\_29.pdf](http://www.copertureinlaterizio.it/COP/UserFiles/File/BIBLIOTECA/Articoli/Tecnologia/57_226_29.pdf)
- [41] Бояджиев, Хр. Как да си построим дървена къща и камина., с/о Jusautor, Sofia, 2000
- [42] <http://www.up.ac.za/academic/civil/divisions/structures/studyguides/sib310/Connections.pdf>
- [43] <http://www.strongtie.com/>
- [44] <http://www.strongtie.co.uk/pdf/LUP.pdf>
- [45] <http://www.strongtie.co.uk/pdf/MH.pdf>
- [46] <http://www.strongtie.com/products/connectors/LUC-LU-U-HU-HUC.asp>
- [47] <http://www.strongtie.co.uk/pdf/jhm.pdf>
- [48] <http://www.strongtie.co.uk/pdf/VHM.pdf>
- [49] <http://www.strongtie.co.uk/pdf/HSA.pdf>
- [50] <http://www.bensonwood.com/structure/floorsys.html>
- [51] Чуканов, Сп., Л., Карадех, Проектиране на едно – и двуетажни жилищни сгради. Годишник на УАСГ, С., 2005 - 2006
- [52] [http://oak.arch.utas.edu.au/tech/construction\\_details/2\\_03\\_1.htm#190](http://oak.arch.utas.edu.au/tech/construction_details/2_03_1.htm#190)
- [53] Hommerich, H. Holzarchitektur in detail. Traditionelle und neuzeitliche Holzverbindungen.
- [54] <http://www.kiip.bg/a/region/plovdiv/nav/current/type/1/item/918>
- [55] БДС 7061 – 74 Дъски обработени за подове/ дюшеме/ Технически изисквания, Влязъл в сила от 1.VII.1975г.
- [56] БДС 427 – 90 Материали фасонирани от иглолистни дървесни видове. Греди, бичмета и летви, в сила от 1991.
- [57] Натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. Проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони. С., 2001, Издателство "Техника"
- [58] Vidiwall и Vidifloor KNAUF, КНАУФ Гипсофазерни плоскости, Издание 06/2004.
- [59] Тодоров, Ив., Ив. Тотев, Експериментално определяне на границата на пожароустойчивост на дървени греди. Годишник на УАСГ, С., 1998
- [60] БДС EN 1363 – 1, Български стандарт Изпитване на огнеустойчивост – Част 1: Общи положения, (EN 1363 – 1:1999), Т 58.
- [61] БДС EN 1365 – 2. Изпитване на огнеустойчивост на носещи елементи – Част 2: Подове и покриви.
- [62] Тодоров, Т. Изпитване на строителни конструкции и съоръжения. ДИ "Техника" С., 1986, с. 266
- [63] Методика за експериментално определяне на масовата оптическа плътност на дима от дървесина в режим на тлеене и пламъчно горене 1983, С.
- [64] Пожарная опасность строительных материалов, А. Н. Баратов, Р. А. Адрианов, А. Я. Корольченко, Д. С. Михайлов, В. А. Ушаков, Л. Г. Филин, Москва Стройиздат 1988
- [65] Строй консультант 2.1, информационно-поисковая система с текстами действующих нормативных документов
- [66] Optical smoke potential of different products, Bjarne Paulsen Husted, Danish Institute of Fire and Security Technology
- [67] ARGOS Theory Manual, Edited by Bjarn P. Husted and David Westerman, June 2009
- [68] CFD Applications of PHOENICS on Building Environment and Fire Safety Design, Dr. Qian Wang, Kenneth Ma & Micael Lundqvist, Sydney, Australia, November 2003
- [69] Класификация пожаров Класс А, <http://sea-library.ru>
- [70] <http://www.epa.gov/iaq/co.html>
- [71] Брайнов, Дървени и стомано-дървени конструкции. Техника. С., 1965.
- [72] NFT 20-036 [Sept 85]. Chemical products for industrial use. Determination of the relative temperature of the spontaneous flammability of solids.
- [73] Grever Th. Thermal Hazards of Chemical Reactions, Industrial Safety Series, 4 Amsterdam, Elsevier, 1994.
- [74] Kühner, "Safety Test Equipment: Screening Tests and Procedures", Birsfelden, Switzerland: Adolf Kühner AG,
- [75] Наредба № 13 – 1971 за Строително технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар
- [76] <http://www.daznaeshkak.com/objid/1254-Darvesina-izdeliq-darvesina/>

- [77] <http://www.impregnirane.com/osnovna-informatsiya-za-zashtita-na-darve>
- [78] <http://zamunda.pomagalo.com/download/220977/>
- [79] [http://www.uacg.bg/filebank/att\\_1445.pdf](http://www.uacg.bg/filebank/att_1445.pdf)
- [80] Буй Динь Хань, Дисертация, Влияние химических компонентов на пожароопасные свойства древесины тропических пород Вьетнама, Москва 2006
- [81] Kikuo, Sumi and Yoshio, Tsuchiya, Toxic combustion products of wood and polistiren, Division of Building Research, National Research Council of Canada, Ottawa, September, 1971
- [82] <http://www.derev-grad.ru/lesopolzovanie/drevesina.html>
- [83] <http://www.drevesinas.ru/woodstructura/wormness/4.html>
- [84] [http://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2006-3/construction/%D0%B4%D1%8A%D1%80%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5-%D0%BA%D1%8A%D1%89%D0%B8\\_00189.html](http://stroiteli.elmedia.net/smt/bg/2006-3/construction/%D0%B4%D1%8A%D1%80%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5-%D0%BA%D1%8A%D1%89%D0%B8_00189.html)
- [85] <http://www.seneg.ru/info/arts/14.htm>
- [86] <http://www.hermes-sz.com/page/dopustimaya-vlazhnost-drevesini-v-stroitelnih-konstrukciyah-derevyannih-domov.html>
- [87] [http://www.tyap-lyap.org/derevo/fiz\\_svoystva.shtml](http://www.tyap-lyap.org/derevo/fiz_svoystva.shtml)
- [88] <http://keywood.ru/?p=325>
- [89] <http://www.garantlife.com.ua/pages/proch.htm>
- [90] <http://www.znaytovar.ru/new2528.html>
- [91] [http://iavor.net/offer.php?&l=&c=log\\_houses&m=ck41&](http://iavor.net/offer.php?&l=&c=log_houses&m=ck41&)
- [92] [http://www.bialborad.com/?r=view\\_article&article\\_id=2&lng=bq](http://www.bialborad.com/?r=view_article&article_id=2&lng=bq)
- [93] <http://www.saw-trade.com/index.html>
- [94] <http://fire.sectron.com/fire-elements.html>
- [95] <http://virtual.vtt.fi/virtual/innofirewood/stateofheart/database/burning/burning.html><sup>96</sup>. [http://www.mech-ing.com/journal/Archive/2009/3-4/2.Tehnologii/1\\_85\\_dinev\\_plenaren.pdf](http://www.mech-ing.com/journal/Archive/2009/3-4/2.Tehnologii/1_85_dinev_plenaren.pdf)
- [96] <http://en.wikipedia.org/wiki/Levoglucosan>
- [97] Перельман, Я., И., Занимательная алгебра, Наука, Москва, 1967.
- [98] <http://www.sivrieva-zlatarova.com/present/zaobhvata.pdf>
- [99] <http://glinata.dir.bg/files/5279437.pdf>
- [100] EN 338
- [101] Димитров, С. 2003 г., „Поразяващи фактори на дима”, Списание за пожарникари в България, Ало 160, София
- [102] Тодоров, Ив., Вл. Гаджуров, Определяне скоростта на овъгляване на дървени елементи, Бюлетин № 17, РИГ, С., 1996 г., стр. 58 – 67.
- [103] Тодоров, Ив., Г. Георгиев Изчислително определяне границата на пожароустойчивост на дървени елементи с помощта на компютър, Бюлетин № 17, РИГ, С., 1996 г., стр. 68 – 79.
- [104] Тотев, Ив., Д. Даков, Сп. Чуканов, Ив. Тодоров, Сравняване на показателя на пожароустойчивост  $R_f$  на дървени елементи от изчислителни модели с експериментални резултати, Бюлетин № 18, С., 1999 г., стр. 22 – 25.
- [105] Тодоров, Ив., С. Димитров, Р. Къртов, Б. Мицев, Експериментално определяне границата на пожароустойчивост на дървени греди, Бюлетин № 18, С., 1999 г., стр. 190 – 201.
- [106] Тодоров, Ив., Ив. Тотев, Пожароустойчивост на едноетажна дървена сграда, Бюлетин № 19, С., 2001 г., стр. 17 – 22.
- [107] Тодоров, Ив., Ив. Тотев, Пожароустойчивост на едноетажна сграда, Ало 160, бр. 7, С., 1995 г., стр. 14 – 15.
- [108] Даков, Д., Ив. Тотев, Сп. Чуканов, Ив. Тодоров и Л. Мутафчийска, Експериментално изследване на пожароустойчивостта на дървените елементи, подложени на огъване, Сборник материали от конференции, С., 1993 г., стр. 93 – 96.
- [109] Даков, Д., Ив. Тотев, Сп. Чуканов и Ив. Тодоров, Изчислително определяне на пожароустойчивостта на едноетажна сграда с прътови главни греди, Сборник материали от конференции, С., 1993 г., стр. 97 – 100.