

ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
Macedonia

FE - 7

mase@gf.ukim.edu.mk

Ивана МУЛОВСКА¹, Мери ЦВЕТКОВСКА², Ана ТРОМБЕВА ГАВРИЛОСКА³

ВЛИЈАНИЕ НА ДИМЕНЗИИТЕ НА НАПРЕЧНИОТ ПРЕСЕК И ТИПОТ НА ИЗОЛАЦИЈА ВРЗ ПОЖАРНАТА ОТПОРНОСТ НА ДРВЕНИ СТОЛБОВИ

РЕЗИМЕ

Предмет на истражувањето е да се увиди влијанието на димензиите на напречниот пресек и влијанието на различните видови изолација врз пожарната отпорност на дрвените столбови, односно да се дефинира разликата во однесувањето на незаштитени опожарени дрвени столбови и заштитени со примена на материјал за изолација. Анализирани се дрвени столбови од цврсто дрво тип C24, изложени на пожар од 4 страни, со класи на пожарна отпорност: R30, R45, R60 и R90. Анализата е спроведена со методи за пресметување според Еврокод 5, дел 1-2. Врз база на спроведените анализи добиени се криви кои ја дефинираат пожарната отпорност на разгледуваните типови на дрвени столбови.

Клучни зборови: Дрвени столбови, пожарна отпорност, димензии на пресек, типови изолација

Ivana MULOVSKA¹, Meri CVETKOVSKA¹, Ana TROMBEVA GAVRILOSKA³

INFLUENCE OF CROSS-SECTION DIMENSIONS AND TYPE OF ISOLATION ON FIRE RESISTANCE OF TIMBER COLUMNS

SUMMARY

The main topic of this research is to define the influence of cross-section dimensions and type of isolation on fire resistance of timber columns. In other words, to define the difference between protected and unprotected surfaces of timber columns in case of fire exposure. The timber columns are from firm timber type C 24, pinned on both ends and subjected to external axial loading. The timber columns are exposed to 30, 45, 60 and 90 minutes standard fire at the entire perimeter. The analysis is conducted with the calculation methods recommended in Eurocode 5, part 1-2. The final results from the analysis are the curves that define the fire resistance of the examined types of timber columns.

Key words: timber columns, fire resistance, cross-section dimensions, type of isolation

¹ Master of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, mulovska_ivana@outlook.com

² Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, UKIM, Skopje, Macedonia, cvetkovska@gf.ukim.edu.mk

³ Assoc. prof. PhD, Faculty of Architecture, UKIM, Skopje, Macedonia, agavriloska@arh.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Столбовите, како конструктивни елементи, имаат доминантна улога во обезбедувањето стабилност на конструкцијата во целост, па оттаму се јавува потребата истите да имаат задоволителна пожарна отпорност. Пожарната отпорност на дрвените столбови зависи од брзината на формирањето на јагленисаниот слој, од зафатнинската маса на дрвото, збиеноста на структурата, процентот на влага во дрвото, состојбата на напрегање, формата и димензиите на напречниот пресек, условите на потпирање, пожарното сценарио односно температурната распределба помеѓу конструктивните елементи од дрвената конструкција и сл.

Наједноставен начин за заштита на конструктивните елементи од дејство на пожар е правилното конципирање на конструктивниот систем и правилното димензионирање на попречните пресеци на носивата конструкција. Елементите со големи распони од статички причини имаат голема површина на попречниот пресек, а со тоа и висока противпожарна отпорност заради бавното согорување на површинските слоеви на дрвената маса. Со оглед дека сигурноста на објектот е директно зависен од сигурноста на најслабиот елемент во конструкцијата, од противпожарни причини се ограничуваат минималните димензии на попречниот пресек на дрвените елементи. Конструкциите со големи распони, со значителни димензии на поречните пресеци, се стабилни на дејство на пожар и не бараат посебна заштита од пожар дури и во најстроги услови на експлоатација.

Вообичаен начин на заштита од пожар освен конструктивните мерки е примената на хемиска заштита. При тоа се употребуваат средства кои го успоруваат палењето на дрвото и ширењето на пламенот, а количината на дим и токсичноста ја сведуваат на минимум. Овие средства се изработуваат од негориви материјали, кои се слаби проводници на топлина и успешно го штитат дрвото од пожар. Заштитното хемиско средство не треба да гори до температура од 800°C, да не го шири пламенот и да не развива отровни гасови. Средства за хемиска заштита на дрвата од пожар кои најчесто се применуваат се: боракс, борна киселина, диамониум фосфат, амониум сулфат, амониум хлорид, цинк хлорид и др.

Заштитата на дрвото од пожар може да се изврши и со премачкување со различни средства со четка или со прскање. Овие специјални премази, во количини од 300-500 g/m² под влијание на оган набубруваат и формираат густ микропорозен слој пена, односно пенеста смеса која е неколку стотини пати подебела од својата првобитна дебелина.

2. ПОЖАРНА ОТПОРНОСТ НА ДРВЕНИ КОНСТРУКЦИИ СПОРЕД EN 5-1-2

Еврокод 5, дел 1-2 (EN 1995-1-2:2004) опфаќа проектирање на дрвени конструкции за инцидентни случаи на изложеност на пожар. Овој дел се употребува заедно со EN 1995-1-1 и EN 1991-1-2:2002 и укажува на разликата од, или е додаток кон, проектирањето за нормални температури. Овој дел 1-2 од EN 1995 се применува кога од конструкцијата изложена на пожар се бара:

- да не доживее предвремен колапс (да задоволи функција на носивост);
- да ограничи ширење на пожар, односно пламен, вжештени гасови и прекумерна топлина надвор од назначените области (да задоволи функција на одделување).

Пожарната отпорност може да се пресметува за издвоен елемент, дел од конструкцијата или за цела конструкција, зависно од избраниот метод. Моделот на конструктивниот систем кој се усвојува за проектирање треба да го одразува очекуваното однесување на конструкцијата во пожарна состојба.

Од пожарните карактеристики на дрвото најзначаен параметар е дебелината на јагленисаниот слој кој зависи од брзината на согорувањето на дрвото. Овој слој се смета дека се појавува на температура блиска до пиролиза, што соодветствува на температура од околу 300°C. Јагленисаниот слој треба да се земе во предвид за сите дрвени површини и панели базирани на дрво кои се директно изложени на пожар.

Треба да се земе во предвид дека брзината на создавање на јагленисаниот слој е различна за:

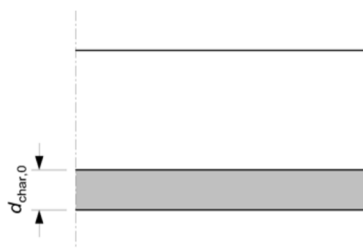
- незаштитени површини во текот на пожарната изложеност;
- почетно заштитени површини пред да започне опаѓањето на заштитата;
- заштитени површини откако ќе бидат изложени на пожар.

Брзината на создавање на јагленисан слој за еднодимензионален слој се зема како константна вредност која зависи од времето. Проектната вредност за длабочината на јагленисаниот слој се пресметува како:

$$d_{char,0} = \beta_0 t$$

каде:

- $d_{char,0}$ - проектна вредност за длабочината за еднодимензионален јагленисан слој;
- β_0 - проектна вредност за брзината на создавање на еднодимензионален јагленисан слој при стандардна пожарна изложеност;
- t - време на пожарна изложеност.



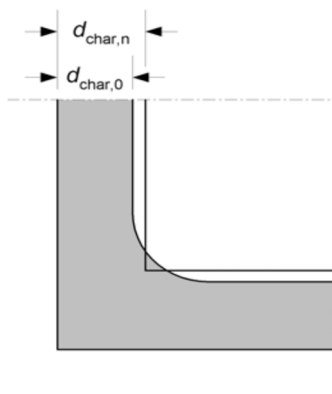
Слика 1. Дебелина на еднодимензионален јагленисан слој

Номиналната проектна брзина на создавање на јагленисан слој, која ги опфаќа ефектите од закривувањата на кошевите и пукнатините на елементите, се зема како константна вредност која зависи од времето. Номиналната проектна длабочина на јагленисаниот слој се пресметува како:

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

каде:

- $d_{char,n}$ - номинална проектна вредност за длабочината на јагленисаниот слој која ги опфаќа ефектите од закривувањата на кошевите и пукнатините;
- β_n - номинална проектна вредност за брзината на создавање на јагленисан слој која ги опфаќа ефектите од закривувањата на кошевите и пукнатините;
- t - време на пожарна изложеност.

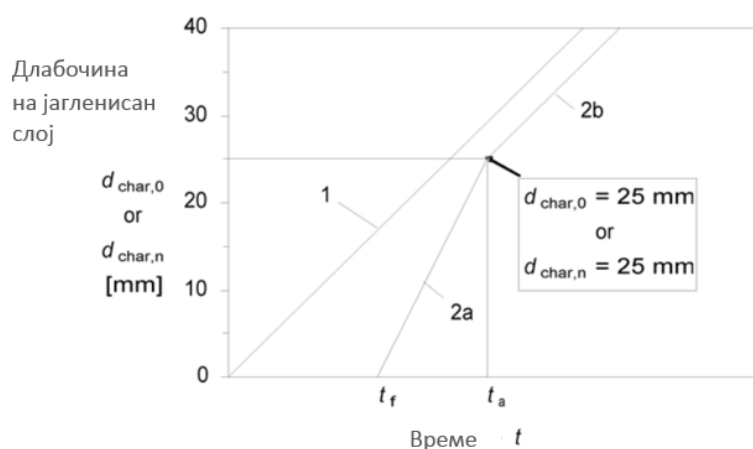


Слика 2. Дебелина на јагленисан слој кој ги опфаќа ефектите од закривувањата на кошевите и пукнатините на елементите

	β_0 mm/min	β_n mm/min
а) Меко дрво и бука		
Лепено ламелирано дрво со специфична тежина $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Цврсто дрво со специфична тежина $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
б) Цврсто дрво		
Цврсто или лепено ламелирано дрво со специфична тежина од 290 kg/m^3	0,65	0,7
Цврсто или лепено ламелирано дрво со специфична тежина $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
в) LVL / ламелиран фурнир		
со специфична тежина $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
г) Панели		
Дрвени панел плочи	0,9 ^a	-
Иверици	1,0 ^a	-
Други панел плочи базирани на дрво	0,9 ^a	-
^a Овие вредности се однесуваат за панели со специфична тежина од 450 kg/m^3 и дебелина од 20mm		

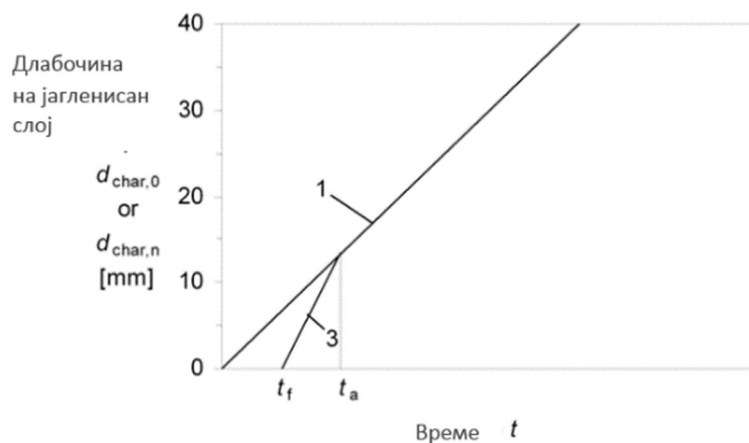
Табела 1. Проектни вредности за брзините на создавање на јагленисан слој β_0 и β_n за различни дрвени површини

2.1. Длабочина на јагленисан слој кај заштитени површини на опожарен пресек



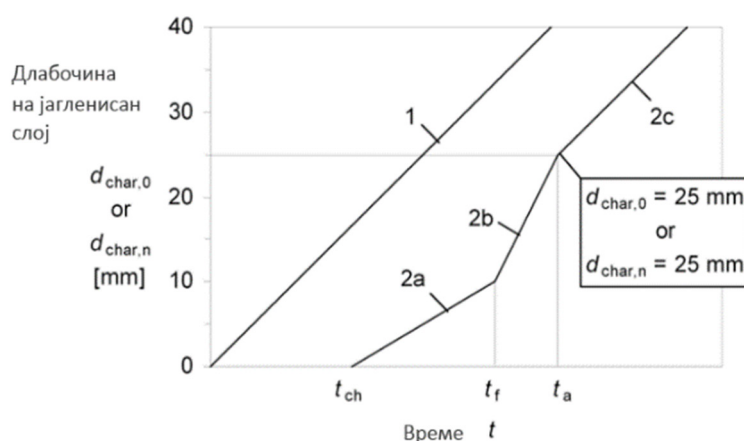
- 1 Зависност на брзина на јагленисување β_n (или β_0) од времето, за незаштитени елементи
- 2 Зависност на брзина на јагленисување од времето, веднаш по паѓањето на заштитниот слој
- 2а По паѓањето на заштитниот слој, брзината на јагленисување се зголемува
- 2б Откако длабочината на јагленисаниот слој ќе достигне 25mm, брзината на јагленисување се намалува до вредности кои одговараат на незаштитени елементи (прикажани во Табела 4.13).

Слика 4. Зависност на длабочината на јагленисаниот слој од времето, кога јагленисувањето започнува по паѓање на заштитниот слој ($t_{ch}=t_f$), а во време t_a слојот е најмалку 25mm



- 1 Зависност на брзината на јагленисување β_n (или β_o) од времето, за незаштитени елементи (вредности прикажани во Табела 4.13)
- 3 Зависност на брзината на јагленисување од времето за покретно заштитени елементи, со брзо отпаѓање на заштитниот слој – време t_f

Слика 5. Зависност на длабочината на јагленисување од времето за заштитени елементи, кога јагленисувањето започнува по паѓање на заштитниот слој ($t_{ch}=t_f$), а во време t_a слојот е помал од 25mm



- 1 Зависност на брзината на јагленисување β_n (или β_o) од времето, за незаштитени елементи (вредности прикажани во Табела 4.13).
- 2 Зависност на брзината на јагленисување од времето на заштитените елементи каде јагленисувањето започнува пред паѓањето на заштитниот слој
 - 2a Јагленисувањето започнува во време t_{ch} со намалена брзина кога заштитниот слој сеуште постои
 - 2b Откако заштитниот слој паднал, брзината на јагленисување се зголемува
 - 2c Откако длабочината на јагленисаниот слој ќе достигне 25mm, брзината на јагленисување се намалува до вредностите прикажани во Табела 4.13.

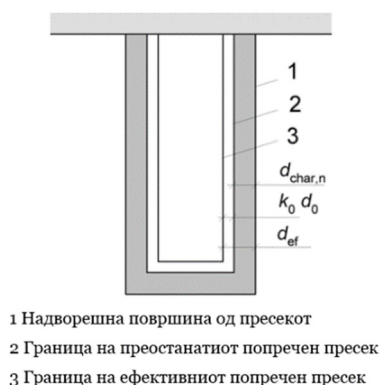
Слика 6. Зависност на длабочината на јагленисување од времето за заштитени елементи, кога $t_{ch} < t$

2.2. Метод на редуциран попречен пресек

Проектната постапка која е искористена во примерите за определување на пожарната отпорност на дрвени столбови е според “Метод на редуциран попречен пресек”, каде ефективниот попречен пресек треба да се земе со редуцирање на почетниот попречен пресек со ефективната дебелина на јагенисаниот слој, и тоа:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

($d_0 = 7 \text{ mm}$)



Слика 7. Дефинирање на ефективниот попречен пресек и преостанатиот дел од попречниот пресек

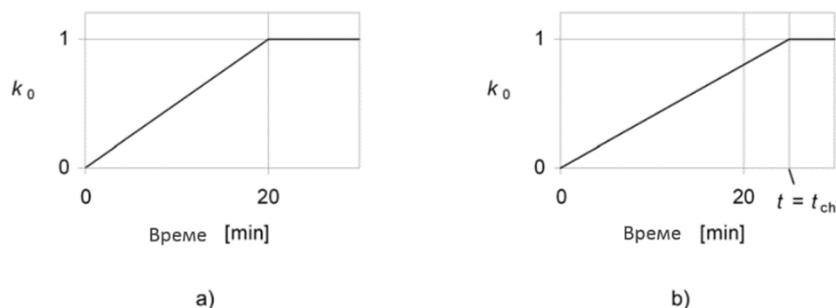
Се смета дека за слојот од пресекот кој се наоѓа блиску до јагенисаниот слој, со дебелина $k_0 d_0$, вредностите на јакоста и крутоста изнесуваат нула, додека вредностите на јакоста и крутоста на преостанатиот дел од пресекот кој се наоѓа под овој слој остануваат непроменети.

За незаштитени дрвени површини, вредноста за k_0 се зема од Табела 2:

	k_0
$t < 20 \text{ min}$	$t/20$
$t \geq 20 \text{ min}$	1,00

Табела 2. Дефинирање на вредноста на k_0 за незаштитени површини

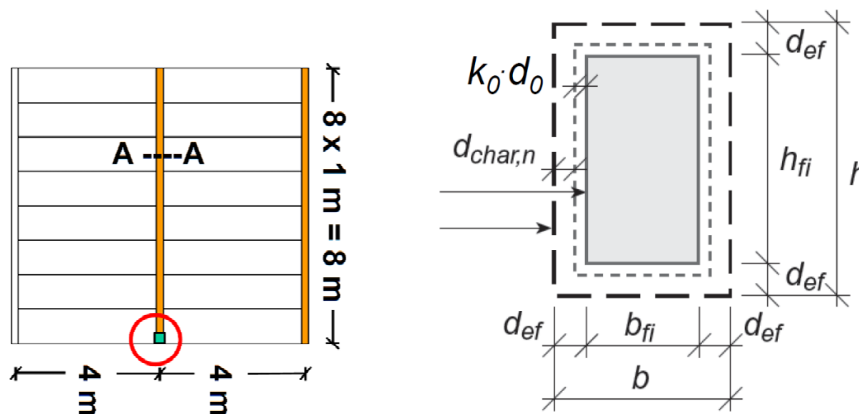
За заштитени дрвени површини со $t_{ch} < 20 \text{ min}$ се зема дека вредноста на k_0 варира линеарно од 0 до 1 во временскиот интервал од $t=0$ до $t=t_{ch}$, додека за заштитени дрвени површини со $t_{ch} \geq 20 \text{ min}$ за k_0 се зема вредност 1.



Слика 9. Варијација на вредноста за k_0 : а) за незаштитени елементи и заштитени елементи каде $t_{ch} \leq 20 \text{ min}$, б) за заштитени површини каде $t_{ch} > 20 \text{ min}$

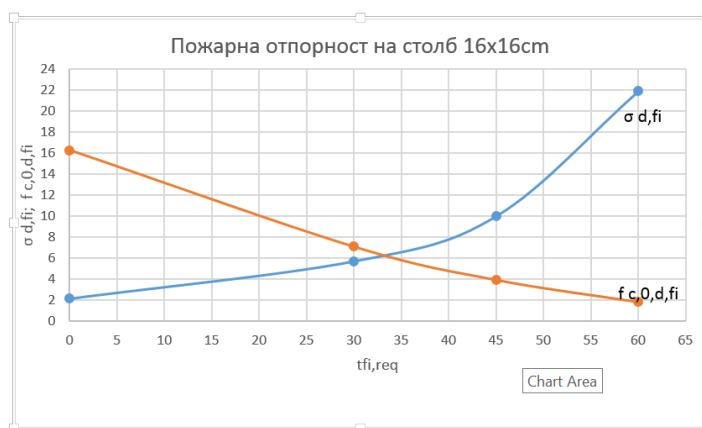
3. ВЛИЈАНИЕ НА ДИМЕНЗИИТЕ НА НАПРЕЧНИОТ ПРЕСЕК ВРЗ ПОЖАРНАТА ОТПОРНОСТ НА ДРВЕНИ СТОЛБОВИ

Во трудот е анализиран одговорот на дрвените столбови изложени на дејство на пожар со промена на димензиите на напречниот пресек. За анализа земени се столбови со димензии: 16x16, 17x17, 18x18, 20x20, 22x22, 24x24 и 26x26cm. Анализирани се дрвени столбови од цврсто дрво тип C24 со специфична тежина на дрвото од $\gamma_d=600\text{kg/m}^3$, со висина $H=3\text{m}$ и растојание меѓу нив $a=4\text{m}$, слободно потпрени на двата краја (истите се дел од конструкција прикажана на сл.10). Анализиран е случај за пожарна изложеност од 4 страни со следните класи на времетраење на дејство на пожар: R30, R45, R60 и R90. Применети се методи на пресметување според EN 1995-1-2.



Слика 10. Геометрија на анализираната конструкција и напречен пресек на столбот

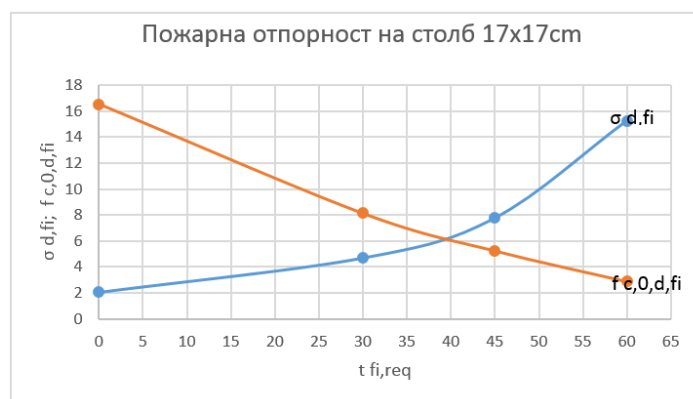
Како прв случај анализиран е столб со димензии 16x16cm. Столбот е анализиран за дејство на пожар во времетраење од 30, 45, 60 и 90 минути. Се добија следните резултати прикажани на следниот дијаграм:



Слика 11. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 16x16cm

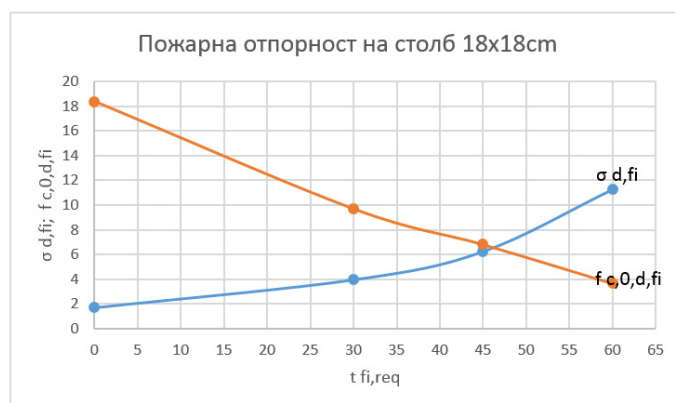
Од дијаграмот на Слика 11. се гледа дека незаштитениот дрвен столб од цврсто дрво тип C24 со димензии 16x16 cm опожарен од сите 4 страни и оптоварен со дадената сила може да го издржи пожарот во временски период од приближно 33 min, после кој ја губи својата носивост.

Преку истата постапка, со анализи на незаштитени дрвени столбови со димензии 17x17cm, 18x18cm, 20x20cm, 22x22cm, 24x24cm и 26x26cm добиени се резултати прикажани на следните дијаграми:



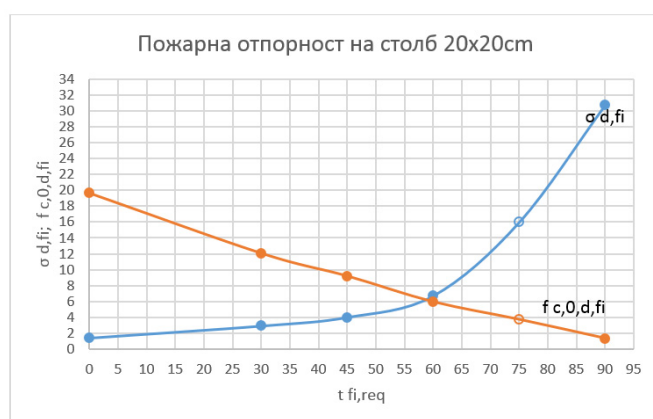
Слика 12. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 17x17cm

Од дијаграмот на Слика 12. се гледа дека незаштитениот дрвен столб од цврсто дрво тип С24 со димензии 17x17cm опожарен од сите 4 страни и оптоварен со дадената сила може да го издржи пожарот во временски период од приближно 39 min, после кој ја губи својата носивост.



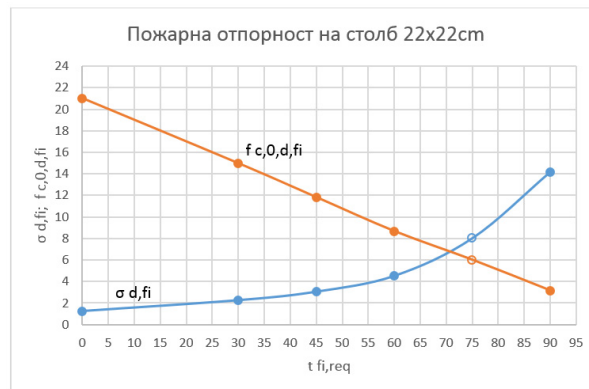
Слика 13. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 18x18cm

Од дијаграм на Слика 13. се гледа дека незаштитен дрвен столб од цврсто дрво тип С24 со димензии 18x18cm опожарен од сите 4 страни и оптоварен со соодветната сила може да го издржи пожарот во временски период од приближно 46 min, после кој ја губи својата носивост.



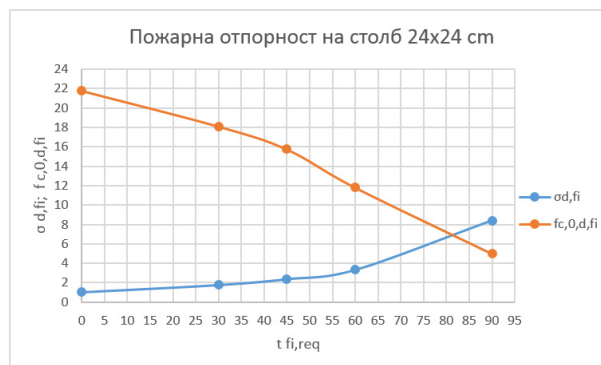
Слика 14. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 20x20cm

Од дијаграм на Слика 14. се гледа дека незаштитен дрвен столб од цврсто дрво тип С24 со димензии 20x20cm опожарен од сите 4 страни може да го издржи пожарот во временски период од приближно 59 min, после кој ја губи својата носивост.



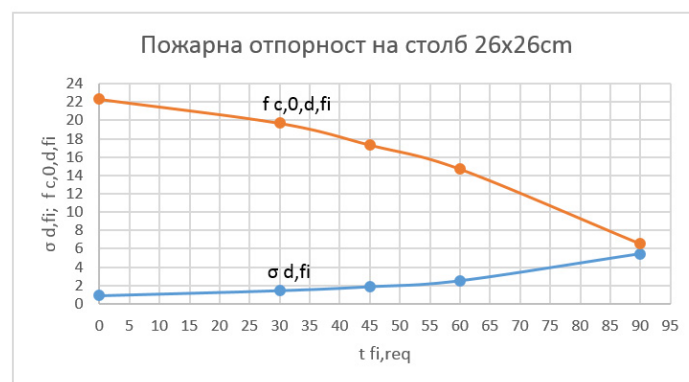
Слика 14. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 22x22cm

Од дијаграм на Слика 14. се гледа дека незаштитен дрвен столб од цврсто дрво тип С24 со димензии 22x22cm опожарен од сите 4 страни може да го издржи пожарот во временски период од приближно 71 min, после кој ја губи својата носивост.



Слика 15. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 24x24cm

Од дијаграм на Слика 15. се гледа дека незаштитен дрвен столб од цврсто дрво тип С24 со димензии 24x24cm опожарен од сите 4 страни може да го издржи пожарот во временски период од приближно 82 min, после кој ја губи својата носивост.



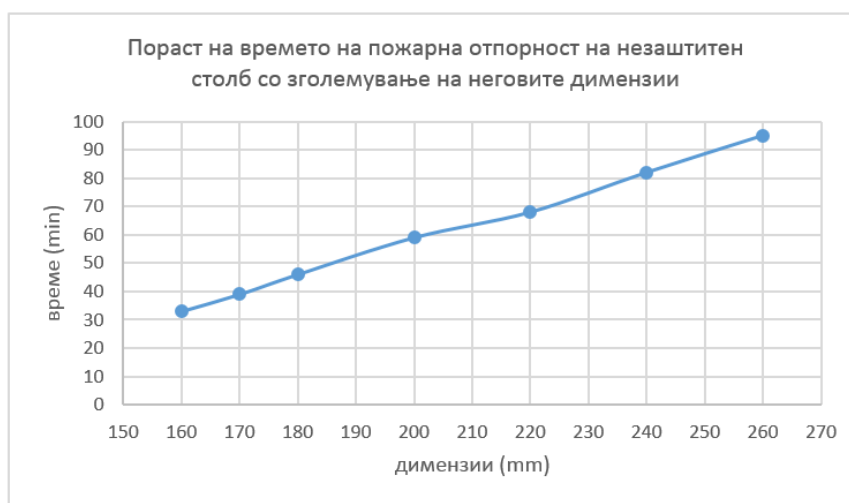
Слика 16. Дијаграм на пожарна отпорност на незаштитен дрвен столб со димензии 26x26cm

Од дијаграм на Слика 16. се гледа дека незаштитен дрвен столб од цврсто дрво тип С24 со димензии 26x26cm опожарен од сите 4 страни може да го издржи пожарот во временски период поголем од 90min, што значи не ја губи својата носивост до тој период.

Сумарните резултати се прикажани во Табела 3.

димензии на напречен пресек (mm)	време на пожарна отпорност (min)
160x160	33
170x170	39
180x180	46
200x200	59
220x220	68
240x240	82
260x260	95

Табела 3. Време на пожарна отпорност на незаштитени столбови за соодветен напречен пресек



Слика 17. Дијаграм на пораст на времето на пожарна отпорност на незаштитен столб со зголемување на неговите димензии

Од дијаграмот на Слика 17. може да се заклучи дека со зголемување на димензиите на попречниот пресек на дрвен столб се зголемува и неговата пожарна отпорност, односно при иста аксијална сила колку е поголем напречниот пресек на дрвениот столб, толку е подолг временски период во кој истиот може да го издржи пожарот без да ја изгуби својата носивост, при што зависноста е линеарна.

4. ВЛИЈАНИЕ НА ТИПОТ НА ИЗОЛАЦИЈА ВРЗ ПОЖАРНАТА ОТПОРНОСТ НА ДРВЕНИ СТОЛБОВИ

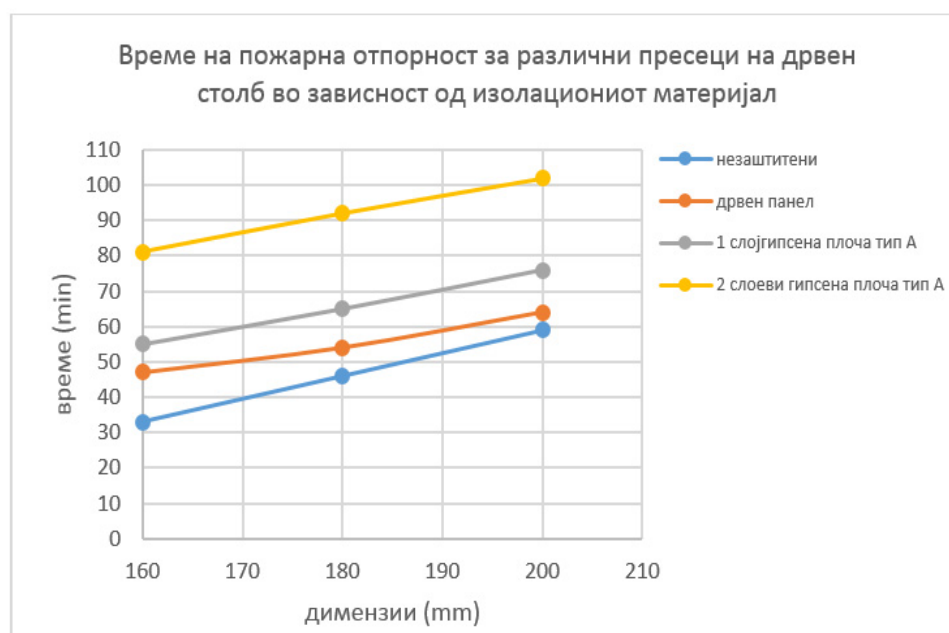
Анализирано е времето на пожарна отпорност на заштитени дрвени столбови при што заштитата е изведена со еден или два слоја гипскартонска плоча тип А или со дрвен панел. За анализа земени се столбови со димензии: 16x16, 18x18 и 20x20cm.

Анализирани се дрвени столбови од цврсто дрво тип С24 со специфична тежина на дрвото $\gamma_d=600\text{kg/m}^3$, со висина $H=3\text{ m}$ и растојание меѓу нив $a=4\text{ m}$, слободно потпрени на двата краја.

Анализиран е случај за пожарна изложеност од 4 страни со следните класи на времетраење на дејство на пожар: R30, R45, R60 и R90. Применети се методи на пресметување според EN 1995-1-2. Резултатите се прикажани во Табела 4, а графички се прикажани на Слика 18.

димензии (mm)	незаштитен (min)	дрвен панел (min)	1 слој гипсена плоча тип А (min)	2 слоеви гипсена плоча тип А (min)
160x160	33	48	55	81
180x180	36	53	65	92
200x200	59	64	76	102

Табела 4. Време на пожарна отпорност на дрвени столбови со различни пресеци во зависност од изолациониот материјал



Слика 18. Споредба на времето на пожарна отпорност за различни пресеци на дрвен столб во зависност од изолациониот материјал

Од Табела 48. и дијаграм на Слика 18. може да се заклучи дека времето на пожарна отпорност на дрвени столбови најмногу се зголемува со употреба на 2 слоеви гипсена плоча тип А, а најмалку со употреба на дрвен панел како изолационен материјал. Исто така може да се заклучи дека зголемувањето на времето на пожарна отпорност, за различните пресеци на дрвен столб заштитени со различни изолациони материјали, по отпаѓањето на заштитниот слој е скоро линеарно. Причина е линеарната зависност на брзината на горење на тврдото дрво од времето.

Дијаграмите за незаштитен пресек и пресек заштитен со дрвен панел не се паралелни од причина што дрвениот панел гори побрзо од тврдото дрво. Брзината на горење на дрвениот панел изнесува $\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$, а за тврдо дрво таа е $\beta_0 = 0,8 \text{ mm/min}$.

5. ЗАКЛУЧОК

Од анализите спроведени во овој труд, и од добиените резултати може да се заклучи следното:

- Со зголемување на димензиите на попречниот пресек на дрвен столб се зголемува и неговата пожарна отпорност, односно колку е поголем напречниот пресек на дрвениот

столб, толку е подолг временскиот период за кој истиот може да го издржи пожарот без да ја изгуби својата носивост.

- Пожарната отпорност на дрвен столб се зголемува доколку истиот се заштити со некој изолационен материјал.
- Времето на пожарна отпорност на дрвени столбови најмногу се зголемува со употреба на 2 слоеви гипсена плоча тип А, а најмалку со употреба на дрвен панел како изолационен материјал.
- Зголемувањето на времето на пожарна отпорност со пораст на димензиите на столбот кој е заштитен со различни изолациони материјали е скоро линеарно.

РЕФЕРЕНЦИ

- [1] A. Purkiss and Long-yuan Li, (2014), *Fire Safety Engineering Design of Structures, Third Edition*, CRC Press Taylor & Francis Group,
- [2] Abdy Kermani, (1999) *STRUCTURAL TIMBER DESIGN*, Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing company,
- [3] Andrew H. Buchanan & Anthony K. Aby (2017) *Structural design for fire safety*, Wiley,
- [4] *Guide to the advanced fire safety engineering of structures* (2007) ISBN 978-0-901297-46-4, Published by The Institution of Structural Engineers,
- [5] Hans Larsen and Vahik Enjily (2009) *Practical design of timber structures to Eurocode 5*, Thomas Telford ,
- [6] Jack Porteous Abdy Kermani, (2007) *STRUCTURAL TIMBER DESIGN to Eurocode 5* , Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing company
- [7] Mario Fontana, Andrea Frangi, Markus Knobloch, (2012) *Structures in fire SIF'2012, 7th International Conference on Structures in Fire*, Zurich, Switzerland
- [8] Michael Klippel (2014) *Fire safety of bonded structural timber elements*, IBK Bericht Nr. 359,
- [9] Technical guideline for Europe (2010), *Fire safety in timber buildings*, SP Technical Research Institute of Sweden
- [10] The Institution of Structural Engineers TRADA (2007) *Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5*, Published by The Institution of Structural Engineers,
- [11] EN 1991-1-2, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*, March 2009
- [12] EN 1995-1-1, *Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules for buildings*, November 2004
- [13] EN 1995-1-2, *Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design*, November 2004