

MODERNI GRAĐEVINSKI MATERIJALI - DODATNA OPASNOST ZA VATROGASCE

Kauzlarić, Siniša

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:160368>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-09**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Siniša Kauzlarić

**MODERNI GRAĐEVINSKI
MATERIJALI – DODATNA OPASNOST
ZA VATROGASCA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2020.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Siniša Kauzlarić

**MODERN BUILDING MATERIALS -
ADDITIONAL HAZARD FOR
FIREFIGHTERS**

Final paper

Karlovac, 2020.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Siniša Kauzlarić

**MODERNI GRAĐEVINSKI
MATERIJALI – DODATNA OPASNOST
ZA VATROGASCA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Dr.sc. Zvonimir Matusinović

Karlovac, 2020.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni/specijalistički studij: Stručni preddiplomski studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 20.07.2020.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Siniša Kauzlarić

Matični broj: 04116617057

Naslov: Moderni građevinski materijali – dodatna opasnost za vatrogasce

Opis zadatka:

- Općenito o gorenju i fazama razvoja požara
- Opis građevinskih materijala i materijala u kućanstvu koji su se upotrebljavali šezdesetih godina te danas.
- Ponašanje novih materijala u požaru te na koji način su moderni građevinski materijali i moderna gradnja promijenili vatrogasnu taktiku.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:.

Predviđeni datum obrane:

20.07.2020

15.10.2020

16.11.2020.

Mentor:
Dr.sc. Zvonimir Matusinović

Predsjednik ispitnog povjerenstva:
Dr.sc. Vladimir Tudić

PREDGOVOR

S novim napretkom građevinskih materijala postoji snažna potreba za karakterizacijom i utvrđivanjem njihove požarne izvedbe prema različitim scenarijima dizajna požara. Potaknut tom činjenicom tema ovog završnog rada sama po sebi se nametnula kao vrlo zanimljivo i još nedovoljno obrađeno područje.

Ovim putem bih se zahvalio mentoru dr.sc. Zvonimiru Matusinoviću na pomoći, strpljenju i savjetima pri oblikovanju ovog završnog rada.

Velika hvala i profesorima na prenesenom stručnom znanju, kao i kolegama s kojima je ovo bilo jedno nezaboravno putovanje.

Neizmjereno hvala mojoj obitelji na podršci i vjeri u mene. I naposljetku, hvala mojoj supruzi Ivi na strpljenju i potpori tijekom studiranja, hvala mojoj dječici Miji i Ivanu na strpljenju, jer je naša zajednička igra često morala čekati zbog sati provedenih u učenju.

SAŽETAK

Građevinski materijali i materijali koji se primjenjuju u kućanstvu uvelike su se promjenili unutar posljednjih 60 godina. Čovjek je oduvijek težio za udobnijim, lagodnijim životom što je rezultiralo novim materijalima u gradnji i kućanstvu koji su nam omogućili upravo takav način života. Domovi su postali sve više energetske efikasni, a požarna opterećenja prostorija veća. Samom usporedbom požara u modernom požarnom okruženju u odnosu na požare proteklih desetljeća možemo reći kako vatra ima isto ponašanje kao i prije, fizika i kemija vatre ostala je jednaka, no okoliš i odjelci u kojima dolazi do požara značajno su se promjenili mijenjajući pri tome dinamiku požara. Osnovni mehanizam širenja požara povećao se isključivo zbog proizvoda koji se nalaze u našem okruženju. Slijedom navedenog ponašanje požara se promijenilo, a vrijeme za pravovremenu intervenciju smanjilo. U radu će biti opisane razlike materijala u upotrebi posljednjih 60 godina te na koji način moderni materijali u izgradnji i kućanstvu predstavljaju požarnu opasnost kao i dodatnu opasnost za vatrogasce.

Ključne riječi: građevinski materijali, moderni materijali, požar, zaštita od požara, vatrogasac

SUMMARY

Building materials and materials used in the household have changed greatly within last 60 years. Man has always strived for a comfortable, easy-going life which has resulted in new materials in construction and household that have enabled us to have just such a way of life. Homes have become more and more energy efficient and the fire load on the premises is higher. By comparing fires in a modern fire environment in relation to fires through past decades, we can say that fire behaves the same as before, the physics and chemistry of fire remained the same, but the environment and sections in which the fire occurs have changed significantly changing the dynamics of fire. The basic mechanisms of fire spread have increased solely due to the products found in our environment. Following the above, the behavior of the fire has changed and the time needed for timely intervention decreased. In this paper, the differences in materials in use in the last 60 years will be described and how the modernization of materials in construction and household poses a fire hazard as well as an additional danger to the firefighter.

Keywords: construction materials, modern materials, fire, fire protection, firefighter

SADRŽAJ

PREDGOVOR	I
SAŽETAK	II
SUMMARY	III
1.UVOD	1
1.1. PREDMET I CILJ RADA	1
1.2. IZVORI PODATAKA I KORIŠTENE METODE.....	1
1.3. SADRŽAJ I STRUKTURA RADA	2
2. GORENJE	2
2.1. PRIJENOS TOPLINE.....	3
2.1.1 KONDUKCIJA	3
2.1.2. KONVEKCIJA.....	4
2.1.3. RADIJACIJA.....	4
2.2. FAZE GORENJA.....	5
2.2.1. INICIJALNA FAZA RAZVOJA POŽARA (FAZA PALJENJA) .	6
2.2.2. FAZA RAZVITKA POŽARA.....	6
2.2.3. FAZA POTPUNO RAZVIJENOG POŽARA ili FLASHOVER	
FAZA	7
2.2.4. FAZA POTPUNO RAZVIJEN POŽARA	7
2.2.5. FAZA SPONTANOG GAŠENJA POŽARA.....	7
3. GRAĐEVINSKI MATERIJALI, KONSTRUKCIJE I NJIHOVA	
KLASIFIKACIJA U POŽARU.....	8
3.1. RAZVRSTAVANJE GRAĐEVINSKIH MATERIJALA PREMA	
PONAŠANJU U POŽARU.....	8
3.2. OTPORNOST NA POŽAR KONSTRUKCIJE I ELEMENATA	10
3.3. PONAŠANJE MATERIJALA U POŽARU	13

3.3.1. DRVO	14
3.3.2. ČELIK	15
3.3.3. BETON	16
3.3.4. CIGLA	17
3.3.5. GIPSANE PLOČE	17
3.3.6. PLASTIKA.....	18
3.3.7. ALUMINIJ.....	19
3.3.8. STAKLO.....	21
4. EKSPERIMENTALNI DIO.....	21
4.1. DINAMIKA POŽARA U MODERNOJ GRADNJI	21
4.2. ISPITIVANJE ZIDNIH OBLOGA.....	23
4.3. ISPITIVANJE PROZORA.....	24
4.4. ISPITIVANJE VRATA.....	28
4.5. USPOREDBA MATERIJALA.....	28
4.5.1. REZULTATI ISPITIVANJA.....	29
4.6. UTJECAJ MODERNIH MATERIJALA NA VATROGASCE	33
ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA	38
POPIS KORIŠTENIH KRATICA	41
POPIS SLIKA.....	41
POPIS TABLICA.....	42

1.UVOD

Pogledom u ne tako davnu povijest možemo vidjeti kako se gradnja i materijali koje upotrebljavamo u kućanstvu uvelike promijenila do danas, domovi su postali prostraniji, promijenila se geometrija prostorija te sama upotreba materijala.

Šezdesetih godina prošloga stoljeća kretanje požara u kućama bilo je znatno sporije zbog slabog kemijskog raspada materijala i slabog egzotermnog stanja materijala. Početne faze trajale su duže zbog prirodnih kemijskih veza. Nekoliko važnih faktora se od tada promijenilo pa su tako domovi postali energetski efikasniji a požarna opterećenja prostorija veća. Upotreba sintetičkih materijala na svakom je koraku te se slijedom navedenog ponašanje požara promijenilo, a vrijeme za pravovremenu intervenciju smanjilo. Brzina gorenja materijala u kućanstvu se povećala isto kao i koncentracija toksičnih produkata gorenja što vatrogascima daje vrlo kratko vrijeme za izlazak na sigurno.

1.1. PREDMET I CILJ RADA

Predmet ovog rada je opisati moderne građevinske materijale te na koji način dodatno povećavaju opasnost za vatrogasce. Cilj rada je prikazati i obraditi podatke iz raznih studija i literatura sa svrhom prikaza ponašanja materijala u požaru te njihovog utjecaja na vatrogasnu struku.

1.2. IZVORI PODATAKA I KORIŠTENE METODE

U svrhu istraživanja ovog rada korištena je razna stručna literatura i internet stranice. Sami rad proučava, istražuje i analizira već postojeće podatke. Prilikom pisanja rada korištene su metode dedukcije, deskripcije, klasifikacije, usporedbe i analize.

1.3. SADRŽAJ I STRUKTURA RADA

Ovaj rad sačinjen je od četiri poglavlja. Prvi dio je uvod koji obuhvaća predmet i cilj rada, izvore podataka i korištenu metodologiju te sadržaj i strukturu rada. Drugi dio bavi se mehanizmom prijenosa topline i fazama razvoja požara. Treći dio sačinjava tri podnaslova u kojima su obrađene klasifikacije protupožarnosti te otpornost konstrukcija na požar i ponašanje materijala u požaru. Četvrti dio bavi se dinamikom požara u modernoj gradnji te usporedbom materijala moderne gradnje s materijalima koje smo upotrebljavali sredinom 20. stoljeća. Rad završava zaključkom, popisom korištene literature, korištenih kratica, popisom slika i tablica.

2. GORENJE

Požarom nazivamo nekontrolirano gorenje. Da bi došlo do gorenja moramo imati tri komponente: gorivu tvar¹, toplinu² i kisik. Toplina kao komponenta nam je izuzetno bitna jer inicira i podržava reakciju između gorive materije i kisika.

Gorenje po definiciji je kemijski proces kod kojeg dolazi oksidacije gorivih sastojaka nekog goriva. Samim procesom spajanja oksidansa s gorivom tvari dolazi do oslobađanja topline a kao nusprodukt oslobađanja topline može se pojaviti svjetlost u obliku žarenja ili plamena.[1]

Početak šezdesetih godina Walter M. Haessler provodio je nekoliko testova kako bi zornije objasnio kako vatra gori i kako se može ugasiti, te je svojim radom koji je bio objavljen dao novi pogled na požarni trokut objasnivši kako je on u stvari trodimenzionalan. Dodana komponenta bila je neometano oslobađanje slobodnih radikala tijekom požara koji su uzastopnim kemijskim reakcijama podupirali požar da se razvija i gori. Kako bi dokazao svoju teoriju Haessler je upotrebio prah kao sredstvo za gašenje pri čemu bi se hvatanjem (blokiranjem) slobodnih radikala vatra

¹ Goriva tvar –Goriva tvar može biti u krutom, tekućem ili plinovitom stanju. Kada govorimo o strukturnim požarima goriva tvar je građevina i njezin sadržaj.[1]

² Toplina – Oblik energije povezan sa kretanjem atoma ili molekula u krutom ili tekućem stanju koja prelazi sa jednog tjela na drugo kao rezultat termalne diferencije.[1]

ugasila. Nakon faze gašenja Haessler je pokupio prah koji je upotrebio kao sredstvo za gašenje i otkrio da prah nije bio konzumiran (potrošen) prilikom gašenja požara. Uključivši sada i četvrtu komponentu, možemo prezentirati požarni tetraedar gdje svaka stranica požarnog tetraedra dotiče jedan od četiri faktora koji moraju biti prisutni kako bi se gorenje moglo odvijati.[2]

2.1. PRIJENOS TOPLINE

Mehanizam prijenosa topline izuzetno je bitan za vatrogasce zato što je toplina ključna za početni požar i njegovo sagorijevanje. Požar proizvodi toplinu koja se prenosi na drugi objekt. Faktori o kojima ovisi širenje požara su količina proizvedene topline u jedinici vremena, karakteristike materije koja se zagrijava, razdaljina između požara i objekta koji prima toplinu, te sama sposobnost grijane materije da apsorbira toplinu te dođe u fazu samozapaljenja.[3]

Toplina će se kretati s materijala koji je zahvaćen požarom i koji ima višu temperaturu na materijal koji ima nižu temperaturu tj. toplina se kreće s toplijeg na hladniji objekt.

Toplina se prenosi s jednog objekta na drugi putem tri metode: kondukcija, konvekcija i radijacija.[2]

2.1.1 KONDUKCIJA

Kondukcija je proces prijenosa energije unutar materije, prenošenjem energije direktno s jedne molekule na drugu. Materijali se razlikuju po svojoj sposobnosti prenošenja topline pa tako metali³ relativno lako prenose toplinu dok izolacijski

³ Metali - elementarne tvari koje se odlikuju nizom karakterističnih svojstava: osobitim (metalnim) sjajem, dobrom provodnošću topline i elektriciteta, kovkošću, duktilnošću i neprozirnošću te sposobnošću da primanjem toplinske ili svjetlosne energije emitiraju elektrone.
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=33551>, prikupljeno 08.08.2020.

materijali poput stakloplastike⁴ jako slabo provode toplinu. Drvo⁵ relativno slabo prenosi toplinu. Energija se pri zagrijavanju drveta zadržava u području koje se grije gdje dolazi do porasta temperature. S obzirom na to da drvo ima relativno nisku temperaturu samozapaljenja, ako je izvor topline stalan primit će dovoljno topline da dosegne temperaturu paljenja. Tada će se drvo zapaliti i početi tinjati. Takva razgradnja drva pod prisustvom temperature ujedno je poznata i kao piroliza⁶. [3]

Važno je napomenuti da što je teži i gušći materijal koji zagrijavamo to će bolje prenositi toplinu. Sposobnost prenošenja topline kondukcijom direktno je povezana s masom objekta i količinom topline koja je oslobođena.

2.1.2. KONVEKCIJA

Konvekcija je kretanje (prijenos) topline kroz zagrijane tekućine ili plinove. Osnovni princip je uzdizanje toplijeg zraka koji zbog smanjene gustoće postaje lakši tj. topliji fluid se giba prema hladnijem. Uzdizanjem toplijeg zraka u atmosferu toplina se predaje hladnijem zraku sve dok se temperature ne izjednače. Kad se gustoća zraka počne povećavati, počinje spuštanje prema površini. [3]

2.1.3. RADIJACIJA

Radijacija je prijenos topline u obliku nevidljivih elektromagnetskih valova spektra od ultraljubičastog do infracrvenog zračenja. Takva energija emitirana od požara putuje u svim smjerovima te se apsorbira u objektima koji su udaljeni i u izravnoj liniji s požarom. Radijacija ima sposobnost da putuje kroz svemir, uključujući

⁴ Stakloplastika (ponekad i fiberglas) je složeni materijal (kompozit) od staklenih niti međusobno povezanih sintetskom smolom. Zbog dobrih mehaničkih svojstava (čvrstoće i elastičnosti) i otpornosti na kemijske utjecaje uvelike se primjenjuje kao zamjena za druge materijale (drvo, staklo, metal) <https://hr.wikipedia.org/wiki/Stakloplastika>, prikupljeno 08.08.2020.

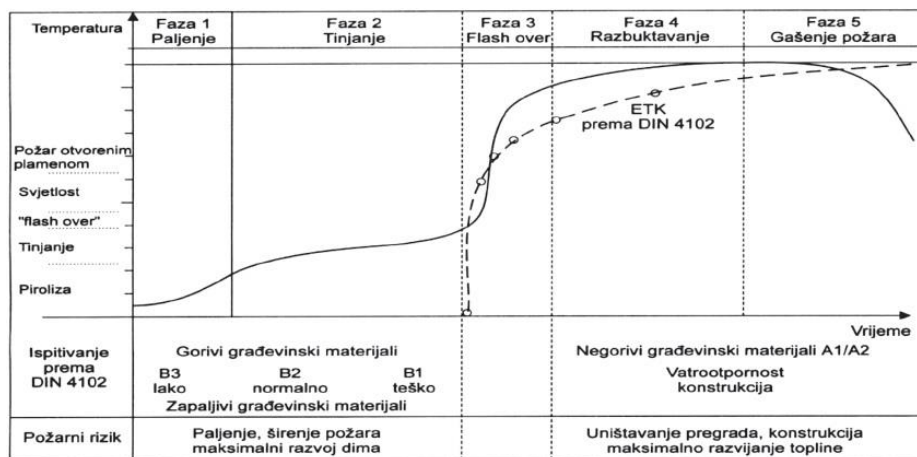
⁵ Drvo je prirodni materijal koji se dobiva od drvenastih biljaka, uglavnom od debla stabala, iako se za neke primjene koriste i drvo grana. ([https://hr.wikipedia.org/wiki/Drvo_\(materijal\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Drvo_(materijal))), prikupljeno 08.08.2020.

⁶ Piroliza – Temperaturna ili kemijska razgradnja gorive tvari uslijed djelovanja topline. [1]

i vakuum, isto kao i prozirne stvari poput stakla i vodenih zavjesa.[3] Ako govorimo o požaru zgrade, radijacijom se toplina emitira od požara prema objektima koji okružuju požar. Kako predmeti primaju tu energiju i počinju se zagrijavati oni započinju prenositi tu energiju na druge objekte. Koliko će se brzo požar proširiti ovisi o samom požaru, koliko će energije predati u okolinu te okolnom objektu koliko brzo će prihvatiti tu energiju. Ovaj način prijenosa topline veći je uzročnik pojave Flashovera⁷ nego kondukcija i konvekcija.

2.2. FAZE GORENJA

Svi požari slijede poseban uzorak u svome razvoju. Požar će proći kroz svoje četiri faze razvoja ukoliko sami proces razvoja ne bude prekinut. Stadiji razvoja (Slika 2.) su: incijalna faza razvoja požara, faza razvitka požara, faza potpuno razvijenog požara i faza spontanog gašenja požara.[1]



Slika 1. Faze razvoja požara krutina.[4]

⁷ Flashover – prijelazna faza u razvoju požara između faze razvitka i faze potpuno razvijenog požara, gdje dolazi do zapaljenja svog gorivog materijala u prostoriji.[2]

2.2.1. INICIJALNA FAZA RAZVOJA POŽARA (FAZA PALJENJA)

Faza paljenja je početni stadij požara. Da bi gorivu tvar mogli zapaliti prvo je moramo zagrijati do stanja gdje počinje ispuštati zapaljive pare. U nekim slučajevima tekućine isparavaju na niskim temperaturama poput benzina ili ih moramo zagrijati kao što su loživo ulje ili motorno ulje. Krutine se isto moraju zagrijati do faze pirolize. Kada se izvor zapaljenja sjedini sa zapaljivim parama uz prisustvo kisika te neometanim odvijanjem lančanih kemijskih reakcija dolazi do zapaljenja tj. požara.[1]

2.2.2. FAZA RAZVITKA POŽARA

Nakon paljenja požar se mora širiti ili će se ugasiti. Toplina koju emitira požar prenosi se na okolne objekte konvekcijom i radijacijom. Ti objekti primaju toplinu do točke samozapaljenja te i oni počinju gorjeti. Što je veći požar više je produkata sagorijevanja koji se kreću prema stropu. Tu dolazi do termičkog raslojavanja gdje se vrući zrak skuplja pri stropu i postepeno se spušta prema podu gdje se nalazi hladniji zrak.[3]

Nekoliko faktora utječe na širenje požara. Prvi faktor je količina raspoloživog kisika. Požar treba kisik koji se troši u procesu izgaranja. Ako je koncentracija kisika ispod 16% požar ima poteškoće pri sagorjevanju te se proizvodi sve više ugljičnog dioksida, sve dok koncentracija kisika ne padne ispod 8% tada požar više ne može gorjeti. Takvo ponašanje požara nazivamo i požar kontroliran zrakom.[3]

Drugi faktor je količina gorive tvari. Poznato je da bez gorive materije vatra ne može gorjeti. Ukoliko imamo dovoljno gorive tvari vatra će znatno narasti, a njezino širenje ovisit će o fizičkom stanju goriva i količini oslobođene energije tijekom određenog vremena.[3]

Treći faktor je veličina prostorije gdje požar započinje, njegova veličina i udaljenost od ostalih zapaljivih tvari u okruženju.[3]

Četvrti faktor je izolacijska vrijednost stropa i zidova. Što je veća izolacijska vrijednost to će se više topline vraćati samom požaru, dok će kod slabije izolacije prolazi kroz zidove u druge prostorije.[3]

2.2.3. FAZA POTPUNO RAZVIJENOG POŽARA ili FLASHOVER FAZA

Flashover je pojava u fazi potpuno razvijenog požara kod koje dolazi do zapaljenja svog zapaljivog materijala (goriva) u prostoriji.

Djelovanjem požara i njegovim rastom na gorivo u prostoriji (sektoru), sve više gorivog materijala zahvaćeno je požarom, samim time sve više toplinske energije se predaje u prostoriju te ostali predmeti dosežu temperaturu samozapaljenja gotovo istovremeno. U trenutku flashovera svi su predmeti u prostoriji zahvaćeni požarom, oslobađanje energije odvija se puno brže te prostorija za nekoliko sekundi doseže temperature preko 500 °C.[3]

2.2.4. FAZA POTPUNO RAZVIJEN POŽARA

U ovoj je fazi sav gorivi materijal zahvaćen je požarom te proizvodi toplinu maksimalnom brzinom. U ovoj fazi požar ima sve što mu treba te proizvodi veliku količinu zapaljivih požarnih plinova. Požar konzumira raspoloživi zrak velikom brzinom te ukoliko će potrošnja biti veća od priljeva svježeg zraka brzina sagorijevanja će se usporiti.[3]

2.2.5. FAZA SPONTANOG GAŠENJA POŽARA

U ovoj fazi požaru ponestaje gorivog materijala kako bi održao svoju snagu. Sama atmosfera dovoljno je zagrijana te se energija i dalje otpušta, ali zbog nedostatka gorivog materijala dolazi do usporavanja sagorijevanja. Intenzitet požara

se smanjuje do točke tinjanja, na posljétku sav gorivi materijal biti će iskorišten i vatra se gasi.[3]

3. GRAĐEVINSKI MATERIJALI, KONSTRUKCIJE I NJIHOVA KLASIFIKACIJA U POŽARU

Poznavanje građevinskih materijala i konstrukcija gledano s vatrogasnog aspekta ima veliku važnost. Svojstva upotrebljenih materijala i vrsta konstrukcije u upotrebi definiraju osnovne požarne karakteristike same građevine (zgrade, stana, kuće...). Brzina širenja požara te količina i vrsta produkata izgaranja ovise o upotrebljenim materijalima, njihovim osobinama. Neki materijali su zapaljivi i pri procesu gorenja gube na masi, neki su negorivi, ali pri apsorpiranju topline gube svoja mehanička svojstva.[3]

3.1. RAZVRSTAVANJE GRAĐEVINSKIH MATERIJALA PREMA PONAŠANJU U POŽARU

Stupanj zapaljivosti građevinskih materijala, važna je vatrogasna klasifikacija. Zapaljivi građevinski materijali pri visokim temperaturama neće se samo razgraditi već će se zapaliti i podržavati gorenje. Nezapaljivi građevinski materijali pak pri utjecaju požara neće sudjelovati u gorenju, ali zbog utjecaja visoke temperature dolazi do njihove razgradnje te promjene svojstava.[1,3]

Ponašanje građevinskih materijala u požaru uvjetovano je: vrstom, oblikom, presjekom, dimenzijama, površinom materijala te spojevima s drugim elementima.⁸ Samom reakcijom na požar podvrgnuti fizikalno-kemijskim promjenama utječe se na njihova svojstva samim time i na stabilnost objekta. S obzirom na reakciju u požaru,

⁸ Zaštita od požara u graditeljstvu
(<http://pubweb.carnet.hr/vzgnm/wpcontent/uploads/sites/157/2014/09/GRAD-casnik.pdf>) 04.09.2020.

materijali se svrstavaju u određene kategorije sukladno hrvatskoj normi HRN EN 13501-1 i HRN DIN 4102.[4]

Prema normi HR DIN 4102, materijali su svrstani u dvije klase tj. pet podskupina.

Tablica 1. Klasifikacija materijala prema gorivosti HR DIN 4102.[4]

KLASA „A“ NEGORIVI MATERIJALI	A1 – bez organskih sastojaka normirani materijali: gips, vapno, cement, beton, kamen, staklo, metal, glina, keramika, pijesak nenormirani materijali: kalcij-silikat ploče, određene mineralne protupožarne ploče i silikatne ploče (ovu skupinu treba dokazivati)
	A2 - s organskim sastojcima gips-kartonske ploče, određeni mineralno-vlaknasti materijali
KLASA „B“ GORIVI MATERIJALI	B1 - teško zapaljivi plastični materijali u kombinaciji s materijalima klase A1 i A2 normirani: gips-kartonske ploče, lake građevinske ploče od drvene vune ostali: (treba ih dokazivati)
	B2 - normalno zapaljivi normirani materijali: drvo i drvni proizvodi debljine više od 2 mm, normirani pokrovi i normirane podne PVC-obloge
	B3 - lako zapaljivi svi oni koji nisu B2 kao: papir, drvena vuna, drvo do debljine 2 mm, slama

Osnovi parametri za razvrstavanje materijala u kategoriju prema HRN EN 13501-1 su: [4]

- Gorivost
- Prijenos topline

- Bočno širenje plamena
- Stvaranje gorivih kapi
- Stvaranje dima

Samom normom materijali svrstani su u sedam razreda, dok kombinacijom ispitnih parametara reakcija na požar, stvaranje dima („s“ razvrstano 1-3) te stvaranje gorivih kapi („d“ razvrstano 0-2) dobivamo ukupno četrdeset razreda po kojima se razvrstavaju materijali.[4,5]

Tablica 2. Razredi građevinskih materijala s obzirom na reakciju u požaru prema HRN EN 13501-1.[5]

A1	Izolacijski proizvodi od prirodnog kamena, opeke, keramike, stakla
A2	Proizvodi iz grupe A1, koji sadržavaju malu količinu organskog materijala
B	Gipsane ploče s različitim oblogama, požarni usporivači na bazi drva
C	Fenolna pjena, gipsane ploče s različitim oblogama tanji od onih u grupi B
D	Drveni proizvodi debljine veće od 10 mm i gustoće > 400 kg/m ³
E	Vlaknaste ploče, proizvodi o plastike
F	Proizvodi koji nisu ispitani na požar

Tablica 3. Usporedni prikaz razreda reakcije na požar s razredima gorivosti.[5]

Doprinos požaru	HRN DIN 4102	HRN EN 13501-1
Negorivi materijal	A1	A1
	A2	A2-s1, d0
Teško gorivi materijal	B1	B-s3, d2
		C-s3, d2
Normalno gorivi materijal	B2	D-s3, d2
		E-d2
Lako gorivi materijal	B3	F

3.2. OTPORNOST NA POŽAR KONSTRUKCIJE I ELEMENATA

Za materijale koje upotrebljavamo kao građevne elemente u graditeljstvu postavljeni su brojni zahtjevi, glavni zadatak je njihova otpornost na požar. Sukladno pravilniku o otpornosti na požar i drugim zahtjevima koje građevine moraju zadovoljiti

u slučaju požara NN 29/2013-505, Člankom 5. Definirani su zahtjevi otpornosti na požar konstrukcija i elemenata.[6]

Otpornost na požar nosivih i/ili nenosivih konstrukcija (zid, strop, stup, greda i drugo) je sposobnost konstrukcije ili njenog dijela da kroz određeno vrijeme ispunjava zahtijevanu nosivost (R) i/ili toplinsku izolaciju (I) i/ili cjelovitost (E), i/ili mehaničko djelovanje (M), u uvjetima djelovanja predviđenog požara (standardnog ili projektiranog).[6]

Otpornost na požar drugih elemenata (vrata, požarnih zavjesa, požarnih premaza zaklopaca, obujmica, kabela, zatvarača i slično) mogu sadržavati i druge zahtjeve koji moraju biti zadovoljeni u slučaju djelovanja požara kao što su toplinsko zračenje (W), automatsko zatvaranje (C), propusnost dima (S), kontinuitet strujnog i/ili signalnog napajanja (P ili PH), otpornost na čađu (G), sposobnost požarne zaštite (K), otpornost krova (B KROV (t1)) i drugo, sukladno hrvatskim normama sadržanim u Prilogu 6 pravilnika: NN 29/2013-505, Članak 5.[6]

Vrijeme u kojem konstrukcija i elementi moraju očuvati nosivost i druga svojstva tijekom određenog vremena, čime se iskazuje otpornost na požar konstrukcije i elemenata, je najkraće vrijeme u kojem su zadovoljeni postavljeni zahtjevi.[6]

Vrijeme otpornosti na požar izražava se u minutama koje se označavaju brojevima 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.[6]

Otpornost na požar nosivih konstrukcija dokazuje se proračunom nosivosti i uporabljivosti konstrukcije za predviđena djelovanja i utjecaje na građevinu u glavnom projektu, u okviru proračuna mehaničke otpornosti i stabilnosti.[6]

Reakcije na požar građevinskih proizvoda, gdje se navodi koje zahtjeve proizvod koji se ugrađuje u građevinu treba zadovoljiti u pogledu reakcije na požar sukladno normama HRN EN 13501-1 i HRN EN 13501-5.[6] Sama procjena utjecaja požara na građevinske materijale ima veliku znanstvenu i ekonomsku važnost budući da požar može utjecati na kemijska i mehanička svojstva ugrađenih materijala

što dovodi do problema kod strukturne stabilnosti i još mnogo neželjenih efekata ovisno o ugrađenom materijalu.

Za kategorizaciju otpornosti na požar konstrukcija za članice Europske unije postoje dvije mogućnosti ispitivanja materijala:[5]

Primjena scenarija prirodnog požara kod kojeg se pri proračunu toplinskog djelovanja na građevinsku konstrukciju moraju uzeti i parametri koji se odnose i na požarni sektor:

Požarno opterećenje⁹

- Dotok zraka vatri
 - Geometrija i veličina unutrašnjeg prostora
 - Toplinska svojstva unutarnjeg prostora
 - Utjecaj instalacija za sprječavanje požara
 - Raspoloživost vatrogasnih postrojbi koje se uzbujuju nakon aktivacije detektora požara
- Primjena dogovorenih scenarija požara – proračun toplinskog djelovanja definiran normom ISO 834, Dio 1.

U Hrvatskoj se koriste sljedeće norme za ispitivanje gorivosti (reakcije na požar):[5,7]

HRN EN 13501 – 1: 2002 Klasifikacija požara građevinskih proizvoda i građevinskih elemenata – Dio 1: Klasifikacija pomoću podataka ispitivanja od reakcija na požar

HRN EN ISO 1716 Ispitivanja reakcije na požar građevinskih proizvoda – Određivanje topline izgaranja (2002)

HRN EN ISO 1182 Ispitivanja reakcije na požar građevinskih proizvoda – Ispitivanje negorivosti (ISO 1182: 2002)

⁹ Požarno opterećenje- je količina toplinske energije koja se može razviti u nekom prostoru, nastaje sagorijevanjem sadržaja građevine (pokretno opterećenje) i dijelova konstrukcije i elemenata građevine (stalno opterećenje), a razlikuje se ukupno požarno opterećenje (MJ).[6]

HRN EN 13 823: 2002 Reakcija na ispitivanja požara za građevinske proizvode – Građevinski proizvodi isključujući podnice izložene toplinskom napadu jednim gorućim predmetom

HRN EN ISO 11925 – 2 Ispitivanja reakcije na požar – Zapaljivost građevinskih proizvoda podvrgnutih izravnom udarcu plamena – Dio 2: Ispitivanje s jednim plamenom (ISO 11925 – 2: 2002)

Norme za ispitivanje otpornosti na požar:[5]

HRN EN 1363 – 1 Ispitivanja vatrootpornosti – Dio 1: Opći zahtjevi

HRN EN 1364 – 1 Ispitivanja vatrootpornosti neopterećenih elemenata – Dio 1: Zidovi

HRN EN 1365 – 2 Ispitivanja otpornosti na vatru nosivih elemenata – Dio 2: Podovi i krovovi

3.3. PONAŠANJE MATERIJALA U POŽARU

Najčešći građevinski materijali u upotrebi su drvo, cigla, beton, čelik, aluminij, staklo, gips ploče i plastika. Unutar tih navedenih materijala nalaze se stotina varijacija, gorivih i negorivih materijala. U oba slučaja djelovanjem požara na materijale dolazi do vidljivih oštećenja, izobličenja i pogoršanja mehaničkih i toplinskih svojstva materijala.[8] Ključni čimbenici koji utječu na ponašanje svakog od tih materijala u uvjetima požara uključuju.[1]:

- Zapaljivost : hoće ili ne materijal izgorjeti
- Toplinska vodljivost opisuje koliko će brzo materijal provesti toplinu

Razni proizvodi konstruirani su od prirodnih i sintetičkih materijala, te sadrže ugljik, kisik, vodik, dušik, sumpor, i ostale halogene elemente vezane u kemijske

strukture. Drvo i pamuk spadaju u prirodne materijale dok polietilen, najlon, polivinil klorid i ostali kompozitni materijali spadaju u sintetičke materijale.[8]

Kada su izloženi toplini sintetički materijali tj. plastomeri i elastomeri obično omekšaju i tope se, dok su izloženi požaru oni izgaraju te je izgaranje popraćeno kapanjem gorive materije. Prirodni materijali uglavnom ne omekšaju i ne tope se, ali se kemijski razlažu.[8]

3.3.1. DRVO

Drvo je jedan od najčešće korištenih građevinskih elemenata. U upotrebi od najstarijih vremena pronalazi primjenu kao građevinski materijal, lagan za obrađivati, široke primjene. Naznačajnija karakteristika drva za vatrogasce je njegova zapaljivost. Drvo je gorivo strukturnom požaru i može osigurati put za širenje požara.[1]

Požarne karakteristike drva kao građevinskog elementa definirane su s nekoliko parametara:[1]

- Zapaljivost
- Brzina sagorijevanja
- Toksičnost
- Stvarna količina dima
- Pukotine u materijalu uslijed pojave unutarnjeg naprezanja
- Sposobnost promjene agregatnog stanja

Svi navedeni parametri nemaju jednak značaj za građevno drvo u požarnim uvjetima, a mnogi od njih nisu uopće prisutni. Naime toksičnost, raspucavanje i promjena agregatnog stanja u odnosu na druge građevne materijale daju drvu izvanredne prednosti.[1]

Zagrijavanjem drva na temperaturu od 150°C do 270°C dolazi do pirolize tj. oslobađanja zapaljivih plinovitih produkata. Izloženo temperaturi do 300°C dolazi do gorenja uz pougljenjivanje sloja i povećanja unutarnje temperature drvene mase. Slijedom navedenog drvo se mehanički raspada i stvara se nova goriva površina. Zbog niske toplinske provodljivosti i vlage, prijenos topline je malen, te je jasno vidljiva linija između pougljenog sloja i neoštećenog djela. Pougljeni sloj se ponaša kao izolator te određeni period štiti jezgru drva od visokih temperatura.[8,9]

Danas postoje mnogi proizvodi od drva koji se koriste u izgradnji i uređenju interijera koje mijenjaju svojstva sirovog drva pa tako nalazimo ploče od iverice, OSB ploče, medijapan i druge. Važno je napomenuti kako ti materijali koji su nastali lijepljenjem mogu biti štetni po zdravlje čovjeka.[9]

3.3.2. ČELIK

Čelik je nezapaljivi materijal kojeg možemo pronaći u različitim vrstama proizvoda. Otporan je na starenje i truljenje ali ne i na hrđanje u koliko nisu prethodno dodatno zaštićeni od utjecaja zraka i vlage.

Čelik je izrađen od legura željeza i ugljika te ga možemo naći u proizvodnji i s posebnim svojstvima kako nehrđajući čelik ili pocinčani čelik.[1]

Kao i kod drugih materijala, izlaganje povišenim temperaturama dovodi do privremenog smanjenja čvrstoće i krutosti materijala. Tako dugotrajna degradacija pogoduje deformacijama i gubitku nosivih sposobnosti čelika tijekom izlagana požaru tj. deformacija se povećava, a nosivost (čvrstoća) i krutost smanjuju. Samim izlaganjem utječe se i na termalna svojstva čelika pa tako se mijenjaju i svojstva poput koeficijenta toplinskog širenja, specifične topline i vodljivosti koji utječu na prijenos topline.[1]

Izlaganjem čelika temperaturama višim od 600°C dulje od 15 minuta, nezaštićeni čelik se vidljivo deformira. Deformacijom narušava se stabilnost

konstrukcija te može doći do njihovog rušenja što predstavlja značajnu opasnost za vatrogasce. Urušavanje čelične konstrukcije pak ovisi o masi konstrukcije, opterećenja na samoj konstrukciji i metode koja se koristi za povezivanje čeličnih komada.[10,11]

Kako bi poboljšali svojstva čeličnih konstrukcija provodi se zaštita istih obzidavanjem, premazivanjem...

Za vatrogasce ne postoje točni pokazatelji koji omogućuju da se predvidi urušavanje konstrukcije, ali bilo kakav znak poput savijanja, istezanja čeličnih struktura upozorenje je neposrednog rizika od urušavanja.[1,11]

3.3.3. BETON

Beton je negorivi materijal s relativno niskom temperaturnom provodljivošću, te se često upotrebljava kao izolator drugih građevinskih materijala od požara. Izrađen od cementa i agregata poput šljunka i pijeska može se proizvoditi u različitim verzijama za potrebe građevinske struke. Beton kao materijal je povoljan te jednostavan za oblikovati, koristi se za temelje, podove, stupove, zidove, krovove.[1,10,11]

Beton kao materijal nema visoki stupanj toplinske ekspanzije, ali slično kao i kod ostalih građevinskih materijala beton također gubi svojstva.[1] Nadalje gubitak svojstva tj. pojava pukotina i izbočina uslijed djelovanja temperature ovisit će o svojstvu betona, njegovoj gustoći, sadržaju vode odnosno omjeru cementa i vode te vrsti upotrebljenog agregata i armatura u betonu.

U koliko je veći omjer vode u betonu sama voda odgodit će porast temperature u materijalu ali može doći i do eksplozivnog ispadanja nakupljenih para u porama betona odnosno do pucanja betona uslijed porasta tlaka para i izlaganja čelika u betonu požaru. Zagrijavanjem čelika u beton dodatno se oslabljuje konstrukcija i moguće je urušavanje djela betona ili konstrukcije.[10,11]

3.3.4. CIGLA

Cigla ili opeka je građevinski materijal dobiven pečenjem glinene mase, vode i pijeska. Cigla je uz kamen i drvo jedan od najstarijih, a ujedno i prvi materijal koji je proizveden[11]. Različitim vrsta, svojim dobrim svojstvima: čvrstoća, slaba toplinska ekspanzija te dobro podnosi tlačna naprezanja, još uvijek se uvelike koristi pri izgradnji vanjskih i unutrašnjih zidova manjih stambenih ili gospodarskih zgrada.[10,12]

Uslijed direktnog djelovanja požara na ciglu dolazi do stradavanja površinskih slojeva. Prilikom gašenja treba voditi računa o temperaturnom šoku, zidovi se savijaju na onu stranu gdje je djelovao požar.[10]

3.3.5. GIPSANE PLOČE

Gips je prirodni mineral široke primjene najčešće korišten za proizvodnju gipsanih ploča koje se koriste za prekrivanje interijera, zidova i stropova stambenih površina. Sastavljen od calcium sulfata i vode, dobar izolator te negorivi materijal. Ne podržava gorenje niti ako se nalazi u atmosferi čistog kisika.[1]

Otpriblike 21% njegove težine je kemijski kombinirana voda koja uvelike pridonosi vatrootpornosti gipsanih ploča u požaru.[8] Gipsane ploče imaju ograničenu zapaljivost zbog papira kojom su obložene, sporo će gorjeti, ali ne pridonose širenju požara svojim gorenjem. S obzirom na klasifikaciju svrstane su u klasu reakcije na požar A2-s1,d0. Termodinamičkom reakcijom gipsanih ploča tijekom izloženosti požaru, dolazi do otpuštanja vode u obliku pare, čime se učinkovito usporava prijenos topline od izvora do šticećenog građevinskog elementa.

Važno je napomenuti da isparavanjem vode ploča počinje gubiti svoja svojstva te dolazi do trajnog oštećenja ploča koje više ne mogu služiti kao učinkovite vatrogasne barjere.

Iako su ploče dobar završni materijal, ujedno i učinkovita vatrogasna barijera, nije jak strukturni materijal.[1]

3.3.6. PLASTIKA

Plastika predstavlja veliki i rastući udio požarnog opterećenja u javnim i stambenim okruženjima.[8] To je materijal koji sve više nalazi svoje mjesto u graditeljstvu dali kao izolator ili obloge ili kao materijal za izgradnju objekata.[11] Plastika i elastomeri komercijalni su proizvod na bazi polimera koji su formirani za dobivanje specifičnih svojstava za određenu primjenu. Polimeri se mogu miješati s aditivima, punilima kako bi se dobila željena svojstva poput poboljšane otpornosti na toplinu i svjetlost ili povećati usporavanje plamena, krutost, žilavost te drugih fizikalno – kemijskih svojstava.[8]

Plastične mase smo podijelili na:[11]

- Plastomere – kod povišenih temperatura omekšaju i tale. Gorenjem nastaje dim i kruti ostaci (igračke, materijali za izolaciju, kućanski pribor).
- Elastomeri – kod povišenih temperatura omekšaju (sintetska i prirodna guma).
- Duroplasti – površinski sloj pougljeni te otežava gorenje (prekidači, utičnice, podne obloge).

Ono što je karakteristično za polimere je da čvrsti polimeri ne izgaraju tj. izgaraju njihovi hlapljivi produkti uslijed toplinske razgradnje.

Polimerni građevinski materijali jesu zapaljivi, ali dodavanjem protupožarnih retardanata usporava se njihovo zapaljenje i gorivost. Dodavanjem usporivača plamena povećavaju se vatrootporna svojstva polimera. Usporivače smo podijelili u tri skupine:[11]

- Kemikalije koje djeluju s polimerima

- Tvari koji bubre – tvore pjenasti sloj koksa na površini materijala
- Tvari koje se miješaju s polimerima – smanjuju zapaljivost kod termoplasta i elastomera

3.3.6.1. KRISTALNI POLIESTER

Pojam koji koristimo za opis polistirena, amornog materijala koji mijenja svoja svojstva pri 100°C. Najčešće upotrebljavan za izolaciju zgrada ili kuća. U primjeni poznati kao ekspanzirani poliester (EPS) ili kao termoplastični poliester (XPS).

Ekspanzirani poliester kao proizvod najčešće upotrebljavan prilikom energetske obnove zbog dobrih izolirajućih svojstava. Sastavljen je od 2% plastike i 98% zraka, bez mirisa, paropropustan. Njegova negativna osobina je topivost odnosno paljenje na temperaturi od 220°C do 380°C, a temperatura samozapaljenja je od 460°C do 480°C. Kada gori emitira veliku količinu topline i toksične proizvode.[13,14]

3.3.7. ALUMINIJ

Aluminij je metal koji je poslije kisika i silicija najrasprostranjeniji element u Zemljinoj kori [15], ujedno i jedini laki metal koji se koristi za nosive konstrukcije u građevinarstvu. Osobine poput; male težine, otpornosti na koroziju i široki izbor konstrukcijskih oblika sve više otvaraju vrata modernim građevinskim konstrukcijama.

Primjena aluminijskih legura vidljiva je u slučajevima gdje je potrebna mala težina, otpornost na koroziju i funkcionalnost kao kod krovnih sustava velikih raspona, dalekovodnih stupova, konstrukcije koje imaju pokretne dijelove poput pokretnih mostova.[14]

Aluminij ima i negativne osobine koje uvelike utječu na njegov odabir za konstrukcije a to su:[15]

- Osjetljivost na probleme stabilnosti
- Veliko smanjenje u zoni utjecaja topline
- Velika osjetljivost na djelovanja požara (talište na 660°C)
- Elastičnost mu je 3 puta manja od čelika

3.3.7.1. ALUMINIJ KOMPOZIT PANELI

Aluminij kompozit panele sve više možemo naći kao završne elemente na objektima a mogu se koristiti i unutrašnjosti objekta za oblaganje zidova, spušenih stropova, izgradnju kontejnera itd.. Njihova trajnost, fleksibilnost, mala težina i laka obrada omogućuju inovativan dizajn.[16]

Aluminijske kompozitne ploče sastoje se od dva tanka sloja aluminija i jezgre. Standardni sastav jezgre je polietilen ili poliuretan koji nema dobra vatrootporna svojstva. Zato se kod nekih proizvođača rade ploče od polietilena niske gustoće i mineralnih materijala koji pokazuju svojstva usporavanja požara ili negorivih materijala poput kamene vune.[16]

Aluminijske kompozitne ploče implicirane su kao mogući čimbenik u doprinosu katastrofalnog požara u Londonu, „Grenfell Tower“¹⁰ 2017. godine kao i u požarima visokih zgrada u Australiji, Francuskoj, Sjedinjenim Državama itd.[16]

Ovisno o svome sastavu ploče imaju različito ponašanje u požaru, na tržištu se nalazi nekoliko vrsta panela. Postoje dokazi koji govore kako zgrada obložena panelima može pridonijeti širenju vatre na vanjskoj strani zgrade.[16]

¹⁰ Grenfeell Tower – katastrofalan požar u novijoj povijesti Engleske koji je odnio 72 i ozlijedio 70 ljudskih života. . https://en.wikipedia.org/wiki/Grenfell_Tower_fire , prikupljeno 08.09.2020.

3.3.8. STAKLO

Skoro svaka građevina danas sadržava staklo, da li se ono nalazilo u prozoru, vratima, zidovima. Staklo je tvrda, lomljiva tvar, dobiven taljenjem kvarcnog pjeska, sode, vapnenca.[1,17] Staklo je krhko te ne podnosi udarce, ali vlačna čvrstoća mu je velika. Zbog velike vlačne čvrstoće koja je veća i do pet puta od čelika upotrebljava ga se u izgradnji modernih nebodera i zgrada gdje u kombinacijom s čeličnim okvirima zamjenjuje klasične zidove.[1,17]

Ovisno o proizvodnji, točka topljenja mu je obično od 1400°C do 1600°C (negdje do 500°C). Uslijed djelovanja požara staklo omekša i gubi svoju čvrstoću, toplinska vodljivost stakla nema značajan utjecaj na širenje požara, podložno temperaturnim promjenama (naglim hlađenjima ili zagrijavanjima) dolazi do pucanja.[4,17].

Naravno danas postoje različiti modeli stakla poput vatrootpornog stakla koje se sastoji od nekoliko slojeva. Kod visokih temperatura i u vremenu od 30 – 120 minuta slojevi se šire i pretvaraju u čvrsti kompaktni materijal te ne propuštaju požar, dim niti toplinu. Armirano staklo sadrži u sebi metalnu mrežicu koja toplinu ravnomjerno raspoređuje po staklu prilikom zagrijavanja, te mrežica daje i mehaničku čvrstoću samom staklu. Pri izloženosti temperaturi od 800 °C, 30 – 40 minuta staklo omekša i deformira se.[4]

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1. DINAMIKA POŽARA U MODERNOJ GRADNJI

Razvojem industrije tijekom godina došlo je i do promjena u upotrebi materijala u gradnji. Industrija konstantno uvodi nove proizvode koji pružaju bolju stabilnost, brže vrijeme gradnje i isplativost.

Noviji način gradnje i materijali u upotrebi pružaju brojne pogodnosti kako projektantu tako i vlasniku. Obiteljske kuće su zadnjih 50 godina postale veće s otvorenim unutarnjim tlocrtom, stubišta koja vode na gornje katove ukomponirana su u otvoreni tlocrt niže etaže izlažući gornje katove bržem širenju vatre. Koncept otvorenog prostora ispunjen sintetičkim materijalima dozvoljava požaru da se puno brže razvija nego kad smo upotrebljavali prirodne materijale.[18,19] Svaka zgrada je jedinstvena, međutim u modernoj gradnji s novim materijalima takve zgrade predstavljaju različite opasnosti i promjene u ponašanju zgrade u slučaju požara.[19,20]

Namještaj koji se koristio u prošlosti bio je uglavnom izrađen od prirodnih materijala (kožne ili drvene stolice, metalni ili stakleni stolovi, pamučne zavjese). Današnji namještaj izrađen od sintetike poput poliuretanske pjene povećali su požarna opterećenja prostorija.[18,19] Gorenjem sintetike oslobađaju se otrovni i korozivni plinovi navedeni u tablici br.4. koji svojim djelovanjem na čovjeka ostavljaju posljedice na njegovo zdravlje.[4]

Tablica 4. Otpuštanje štetnih plinova prilikom gorenja umjetnih materijala.[4]

Vrsta materijala	Štetne „emisije“
PVC ¹¹	Klorovodik, CO,CO2,ugljikovodik,fozgen,diokisin
Poliamid ¹²	Amonijak,CO,CO2
Poliuretan ¹³	Co,CO2,cijanovodična kiselina

Materijali koje smo koristili nekad za izgradnju kuća značajno su se izmijenili uvodeći materijale boljih energetske svojstava. Materijali poput vrata, prozora, obloga za kuće doživjeli su potpunu evoluciju.[18] U tablici br. 5 naveden je primjer zamjene materijala koji su se upotrebljavali nekad i danas.

¹¹ PVC – polivinil klorid (plastika), plastomerni materijal koji se u građevinsrstu upotrebljava za izradu prozora, roletna, tapeta.. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Poli\(vinil-klorid\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Poli(vinil-klorid)) 09.09.2020.

¹² Poliamid – plastomerni materijal, korišteni u tekstilnoj,automobilskoj industriji itd. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyamide> 09.09.2020.

¹³ Poliuretani - se koriste u proizvodnji visoko elastičnih sjedala od pjene, krutih izolacijskih ploča od pjene, mikrostaničnih brtvi i brtvi od pjene, pjene u raspršivanju, izdržljivih elastomernih kotača i guma. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>

Tablica 5. Evolucija konstrukcijskih materijala.[18]

Konstrukcijski materijal	Materijali koji su se upotrebljavali nekad	Moderni materijali
Strukturne komponente	Masivna drvena građa	Laminirano drvo
Zidne obloge	Žbuka	Gipsane ploče
Vrata	Puno drvo	Iverica , ispunjena saćaste strukture
Prozori	Jednoslojno staklo / Drveni okviri	Troslojno staklo / PVC

Krajem 2011. Godine UL¹⁴ proveo je istraživanje kako bi se ispitale promjene u sadržaju i konstrukciji materijala. Šest različitih scenarija požara gdje se je uspoređivala razlika između materijala koje smo upotrebljavali 60-ih godina i današnjih modernih materijala te su ujedno napravljeni i usporedni testovi otpornosti zidnih obloga, konstrukcijskih elemenata, prozora i vrata.[18]

4.2. ISPITIVANJE ZIDNIH OBLOGA

Usporednim testom zidnih obloga odnosno žbuke kao tradicionalnog materijala s gips pločama došlo se do spoznaje kako jedan i drugi su zadovoljili kriterij cjelovitosti u vremenu od 35:30 minuta gipsane ploče i 75:45 minuta za žbuku.[18]

Gipsane ploče korištene u testu su 12,7 mm standardne proizvodnje istih kriterija ocjenjivanja s žbukom. U testovima koji su provedeni došlo se do spoznaje kako proboj najprije nastaje na spojevima dvaju ploča. Smjesa gipsane ploče gubi vodu te se suši i raspada izlažući konstrukciju toplini i djelovanju požara na unutrašnjost pregradnog zida.[18]

Kako bi se povećala svojstva gips ploča razrađeni su sustavi gradnje i oblaganja pregradnih zidova s ciljem povećanja vatrootpornosti.

¹⁴ UL – Underwriters Laboratories

Klasifikacijom otpornosti na požar prema EN 13501-2 + A1:2010 otpornost gipskartonskih sustava kako navode proizvođači kreće se od 30 do 180 minuta ovisno o strukturi.[21] Primjer pregradnog zida vatrootpornosti 30 i 180 minuta nalazi se kao prilog na slikama 2. i 3.



Slika 2. Pregradni zid.[21]



Slika 3. Pregradni zid 180.[21]

4.3. ISPITIVANJE PROZORA

Povećanjem požarnog opterećenja u objektima količina zraka postala je vrlo važan čimbenik u razvoju požara. Iz tog razloga provedeno je ispitivanje nekoliko

vrsta prozora na djelovanje požara, za koje vrijeme će početi gubiti svoja svojstva, odnosno koje je vrijeme potrebno da požar dobije dodatnu količinu zraka.[18,20]

Usporedbom su uključeni prozori starije proizvodnje (1950. – 1970. godine) te moderni prozori koje možemo pronaći na objektima nakon 2000. godine, odnosno prozori s drvenim okvirima i PVC okvirima, prozori s jednim ili više krila te prozori s jednim ili više stakala.[18,19] Prozori koji su upotrebljeni u ispitivanju nalaze se u tablici br.5.

Prilikom testa uočen je niz oštećenja na prozorima. Da bi pucanje prozora imalo utjecaj na požar mora doći do stvaranja prolaza kako bi zrak mogao ući u prostor. Neuspjeh prozora definiran je pucanjem stakla (razbijanje) stakla, a ne pukotine na staklu više od 25% ukupne staklene površine. Ispitivanje se vršilo u strogo kontroliranim uvjetima, radi prikupljanja što točnijih podataka prozori su mijenjali mjesta ispitivanja kako bi se dobili što točniji podaci. Temperatura peći kontrolirane su u skladu s vremenskom temperaturnom krivuljom predstavljenu u „Fire Test of Window Assemblies“ UL9,8 izdanje srpanj 2009.[19]

Tablica 6. Vrste prozora upotrebljenih u eksperimentu.[18]

	Vrsta prozora	Tip	Veličina širina (m) x visina (m)/ debljina stakla (mm)
A	Drveni okvir, dvostruki okvir, jednostruko ostakljenje	Starija proizvodnja	0.8x 1.2/2.4
B	Drveni okvir presvučen vinilom, dvokrilna, dvostruko ostakljena	Novija proizvodnja	0.8x1.4/2.2
C	Drveni / metalni okvir / devet stakala preko jedne ploče, pojedinačno ostakljena	Starija proizvodnja	0.7x1.4/2.9
D	plastični okvir, dva stakla, dvostruko ostakljena	Novija proizvodnja	0.7x1.4/2.2
E	Plastični okvir, dva stakla, dvostruko ostakljena	Novija proizvodnja	0.7x1.4./2.2
F	Vrhunski drveni okvir, dvokrilna, dvostruko ostakljena	Novija proizvodnja	0.7x1.4/2.3

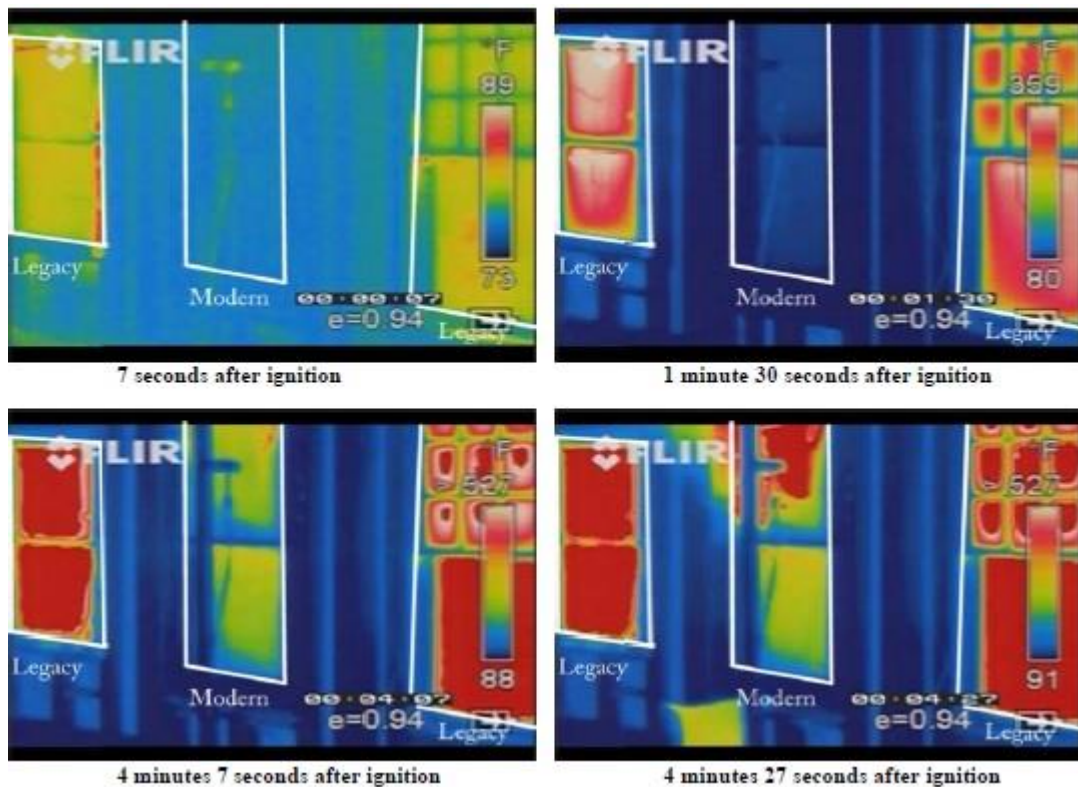
Ispitivanjem je utvrđeno kako su prozori starije gradnje otporniji na djelovanje vatre nego moderni prozori. Dva prozora starije gradnje A i C izdržali su u prosjeku 9:37 min, odnosno 14:06 min dok su moderni prozori B, D,E,F popucali u periodu od 4:19 min,4:14 min,5:12 min i 4:30 min.[19]

Slično kao i vremena koja su postignuta testiranjem tako su i stariji prozori podnesli višu temperaturu izloženosti od modernih prozora. Stariji prozori izloženi peći (požaru) popucali su pri izloženosti temperaturi od 650°C i 790°C dok su moderni prozori pucali na 540°C do 650°C.[19]

Dva glavna razloga su navedena zašto su stariji prozori nadmašili moderne. Kao prvo debljina stakla kod starijih prozora je veća te metoda kojom je staklo pričvršćeno za okvir.

Kod starijih prozora staklo je fiksirano za okvir masom koja je dopuštala staklu da se širi. Moderni prozori staklo drže vrlo čvrsto. Staklo je radi bolje izolacije uokvireno metalnom trakom sa zračnim džepom te ne dopušta samom staklu da se širi. Zbog toga je i došlo do bržeg propadanja stakla.[18]

Tijekom eksperimenta zamijećeno je u pogledu termovizijske kamere (Slika 4), kako su moderni prozori prikrivali činjenicu da se iza njih odvija požar, uostalom to se i od njih očekuje s obzirom na njihovu energetska efikasnost.[19] Ovo saznanje je bitno zbog daljnje procjene na mjestu intervencije te treba uzimati u obzir i najmanje indikatore povišene temperature.



Slika 4. Prikaz termokamere prilikom eksperimenta.[19]

Važno je napomenuti kako je navedeni test rađen na prozorima koji se nalaze na Američkom tržištu. Tijekom pisanja završnog rada nije pronađen niti jedan test koji bi mogli uzeti kao usporedbu s prozorima koji se nalaze na hrvatskom tržištu.

Norma kojom se označavaju PVC prozori te se testiraju u RH jesu norma 14351-1: 2010, za prozore i vanjska pješačka vrata bez otpornosti na požar ili propuštanje dima:[22]

- Propusnost zraka EN 1026
- Nepropusnost vode EN 1027
- Otpornost na udare vjetra EN 12211
- Zvučno izolacijska svojstva ISO 140-3
- Toplinsko izolacijska svojstva EN ISO 12567-1
- Sigurnost u uporabi

- Oslobađanje opasnih tvari i
- Trajnost

4.4. ISPITIVANJE VRATA

Isto kao i ostale strukturne komponente i vrata koja upotrebljavamo u kućanstvu doživjela su promjenu. U usporedbu od starijih vrata koja su bile masivne građe danas upotrebljavamo vrata od iverice s kartonskom ispunom. Vrata koja su bila podvrgnuta ispitivanju imala su upravo takva svojstva tj čvrstu strukturu i šuplju strukturu, te vrata napravljena od različitog drva.[18]

Propadanje vrata definirano je probojem požara na stranu koja nije bila izložena požaru. Testom je utvrđeno kako je na vratima skoro pa u isto vrijeme došlo do proboja požara tj. ispitna vrata pokazala su sposobnost da zadrže požar u dobro ventiliranom odjeljku oko 5 minuta.[19]

Ispitna vrata pokazala su da vrsta drveta nema uočljiv utjecaj na požar. Vrijeme proboja definirala je debljina samih vrata. Vrata sa šupljom jezgrom imala su ukupnu istu debljinu drva kao i vrata s čvrstom jezgrom te iz tog razloga ih je vatra probila gotovo u isto vrijeme.[18]

4.5. USPOREDBA MATERIJALA

Provedena su dva eksperimenta kako bi se ispitale promjene u razvoju požara. Ispitivanjem je obuhvaćeno pokućstvo koje se upotrebljavalo sredinom 20. stoljeća i moderni materijali koji se koriste danas.[18,19]

Ispitivanja su provedena sa svrhom dobivanja usporednih podataka o ponašanju novijih i starih materijala u požaru. Sobe su imale dimenzije 3,7 m x 3,7 sa stropom visine od 2,4 m. Na prednjem zidu nalazio se otvor širine 2,4 m i visine 2,1 m.[19]

Moderna soba bila je obložena bojanim gipsanim pločama standardne debljine a pod prekriven tepihom i podlogom. U sobi se nalazila sjedeća garnitura koja je sadržavala poliester i poliuretansku pjenu, industrijski obrađen drveni stolić, polica za knjige i stalak za televiziju ravnog ekrana od 93 cm. Lampa koja je korištena imala je sjenilo od poliester. Na stražnjem zidu visjele su zavjese izrađene od poliester. Na stoliću nalazilo se šest časopisa i daljinski upravljač.[19]

Soba iz sredine 20. stoljeća bila je obložena žbukom iste debljine kao i moderna soba. Pod je bio prekriven tvrdim drvom. U sobi se nalazila sjedeća garnitura koja je presvučena pamukom, stolić od punog drveta kao i stalak za televiziju od 68 cm s katodnom cijevi. Na kauču se nalazio pokrivač od pamuka. Lampe su imale sjenilo od poliester. Na stolićima su se nalazile dvije mekane knjige. Stol u sredini imao je tri knjige s tvrdim koricama te daljinski upravljač. Na stražnjem zidu nalazile su se zavjese koje su izrađene od pamuka.[19]

Ispitivanje je provedeno tako da su obje sobe istovremeno zapaljene tj. stavljene su svijeće na desnu stranu sjedeće garniture. Požaru je dopušten razvitak do faze flashovera, odnosno potpuno razbuktale faze te je onda požar ugašen.[18]

4.5.1. REZULTATI ISPITIVANJA

Požar u sobi koja je sadržavala moderne materijale lagano se razvijao prve tri minute dok se požar nije proširio do deke koja je bila napravljena od poliester i jastuka koji se nalazio na sofi. Nakon dvije minute požar se proširio na zadnju stranu sofe te se razvio sloj crnog dima u gornjem slojevima prostorije. Negdje oko treće minute jedna polovica sofe bila je zahvaćena požarom, dolazi do zapaljenja tepiha, a vrući požarni plinovi počinju kolati kroz otvor prostorije. Faza flashovera nastupila je nakon 3:30 minuta kao što je vidljivo na Slici 5.[19]



Slika 5. Razvoj požara u modernoj sobi.[19]

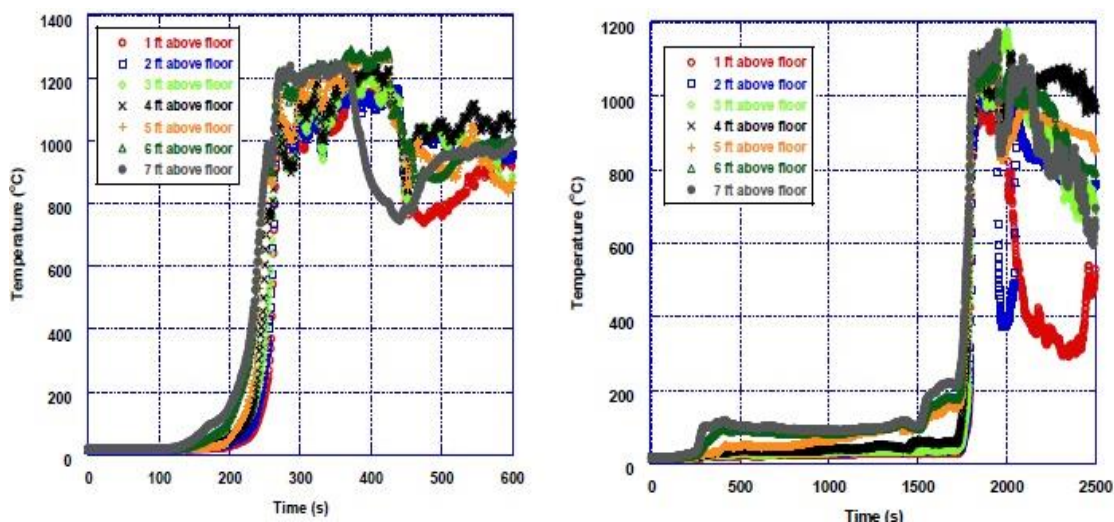
Razvoj požara u sobi s materijalima koje smo upotrebljavali krajem 20. stoljeća lagano se kretao prve tri minute dok se je požar lagano širio na prekrivač, napravljen od pamuka, te jastuk na sjedećoj garnituri. Nakon pet minuta požar je zahvatio rukohvat garniture i proširio se na zavjese koje su se nalazile iza garniture. Nakon deset minuta požar se proširio na jednu trećinu sjedeće garniture. Nakon desete do dvadesete minute slike su tamne zbog toga što je dim koji se širio iz moderne sobe zasjenio svijetla u laboratoriju. Požar se nastavio širiti preko sjedeće

garniture razvijajući zagrijane požarne plinove te je nakon 29:30 minuta došlo do flashovera što prikazuje i Slika 6.[19]



Slika 6. Soba s materijalima iz sredine 20. stoljeća.[19]

Temperaturne vrijednosti koje su izmjerene (Slika 7.) kretale su se oko 1300°C u modernoj sobi i 1200°C u sobi sa starijim materijalima. Na grafu u nastavku vidljiv je vremenski period razvitka požara s postignutim temperaturama.



Slika 7. Krivulja razvitka požara – moderna soba/stara soba.[19]

U nastavku testiranja postavljen je sličan raspored namještaja gdje je u prostoriju veću za 8 m² s većim otvorom i sličnim gorivim materijalom proveden novi eksperiment.[18]

Ispitivanjem je moderna soba u vremenu od 3:30 min postigla fazu flashovera dok soba sa starijim materijalima nije prešla u fazu flashovera zbog nedostatka zapaljenog materijala koji bi stvorio značajnu toplinu u gornjim slojevima sobe. Nedostatkom vrućih požarnih plinova nije došlo do prijenosa topline na okolne objekte koji su usporedbom prethodnog ispitivanja bili bliži sofi nego sada.[18,19]

Slijedom navedenog očigledne su razlike u ponašanju požara s modernim odnosno materijalima koje smo koristili sredinom 20. Stoljeća. Jasno je vidljivo kako su prirodni materijali sporije gore, slabije razvijaju dim i energiju od modernih materijala. To nam pokazuju vremena koja su bila potrebna da se postigne faza flashovera, ostavljajući manje vremena korisnicima da napuste prostoriju. U većini

slučajeva vatrogasne postrojbe dolaze na požar koji je prešao u fazu flashovera ili je postao ograničen ventilacijom.[18,19]

4.6. UTJECAJ MODERNIH MATERIJALA NA VATROGASCE

Na prvi pogled rekli bih smo kako su današnje građevine sigurnije nego građevine izgrađene prije nekoliko desetljeća. Danas sve nove građevine koje se projektiraju ili renoviraju moraju osigurati zaštitu od požara koja je u Republici Hrvatskoj propisana Zakonom o zaštiti od požara (NN 92/10), Zakonom o gradnji (NN153/17,20/17) te pravilnikom o otpornosti na požar i drugim normama i standardima.[23]

Prema Zakonu o zaštiti od požara NN 92/10, Članak 25. Stavak 1 navodi kako se prilikom projektiranja i građenja građevina mora osigurati zaštita od požara, kao jedan od bitnih zahtjeva za građevinu propisanih posebnim propisom kojim se uređuje područje prostornog uređenja i gradnje, tako da se u slučaju požara [24]:

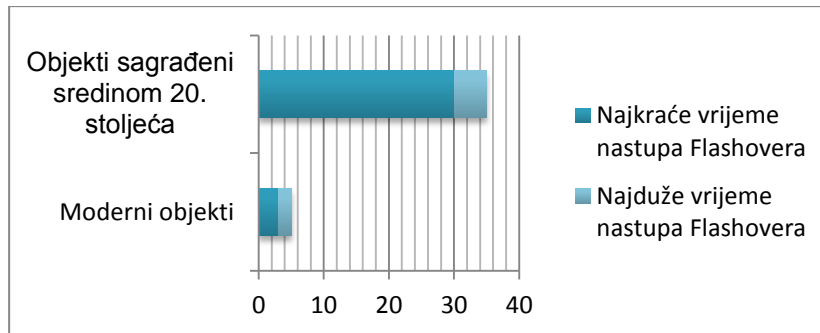
- očuva nosivost konstrukcije tijekom određenog vremena utvrđena posebnim propisom,
- spriječi širenje vatre i dima unutar građevine,
- spriječi širenje vatre na susjedne građevine,
- omogući da osobe mogu neozlijeđene napustiti građevinu, odnosno da se omogući njihovo spašavanje,
- omogući zaštita spašavatelja.

Ipak opremljene modernim tehnologijama poput dimnih detektora i sprinkler sistema, dok vatrogasna struka napreduje po pitanju sigurnosti vatrogasaca povećali su se rizici interveniranja.[25,26] Unazad nekoliko desetljeća dolazi do promjene u strukturnim požarima upotrebom novih materijala i načina gradnji. Vremenski okvir ponašanja požara tablica 7. u zatvorenom prostoru su se izmijenili, a vrijeme koje je

potrebno vatrogasnim ekipama da stignu na mjesto intervencije igra važnu ulogu u gašenju požara. Učinkovitost gašenja požara ovisi o tri čimbenika [25,26]:

- prosječno vrijeme dolaska vatrogasnih ekipa na mjesto intervencije
- raspoloživi resursi (ljudstvo i tehnika) za gašenje požara
- poštivanje propisa zakonske regulative o protupožarnoj sigurnosti

Tablica 7. Usporedni vremenski okvir nastupa flashovera.[19]



Prema dostupnim statističkim podacima Javne vatrogasne postrojbe grada Zagreba¹⁵ prosječno vrijeme interveniranja iznosi 7 min. Prema krivulji razvitka požara u modernim građevinama u većini slučajeva je požar prešao u fazu flashovera ili je požar postao ograničen ventilacijom (kisikom) te čeka da dođe do stvaranja otvora za ventilaciju kako pi mogao povećati brzinu ispuštanja topline i ovisno o uvjetima može rezultirati ekstremnim oblikom ponašanja požara kao što su flashover ili backdraft.[25,26] Iz tog razloga važna je obuka poznavanja ponašanja požara u zatvorenim prostorima, edukacija materijala, kako bi vatrogasci svojim znanjem i radnjama spoznali opasnosti koje vrebaju

Plastika kao materijal ima veću brzinu otpuštanja topline, što ju čini opasnijom i zapaljivijom od prirodnih materijala. Kao usporedbu možemo navesti usporedbu dvije stolice. Stolica presvučen pamučnom tkaninom, njegova najveća brzina oslobađanja topline iznosio je 370 kW u periodu od 15 min nakon paljenja dok je za stolicu obložena pjenom i sintetičkom tkaninom vrhunac oslobađanja topline iznosio

¹⁵ Brlečić D. JVP Zagreb – Primjena GIS sustava u vatrogastvu
https://www.zagreb.hr/UserDocImages/arhiva/8_Darko%20Brle%C4%8Di%C4%87.pdf 10.09.2020.

je 1.990 kW u periodu od 4 minute od paljenja. Važno je napomenuti kako su obje stolice imale sličnu ukupnu oslobođenu toplinu. Prirodna stolica ukupno je oslobodila 425 MJ topline dok sintetička 419 MJ topline.[18]

Kao rezultat navedenog vidljivo je i iz krivulja razvoja požara koje su predhodno navedene.

Osim požara značajnu opasnost predstavljaju i produkti sagorijevanja. Kod gorenja sintetičkih materijala u dimu su sadržani opasni plinovi koji su izuzetno štetni za ljude. Udisanjem tih plinova čak i u malim količinama mogu imati fatalne posljedice za ljudski život unutar par minuta.

Plinovi koji nastaju najčešće su ugljični monoksid koji nastaje kao produkt nepotpunog gorenja većini požara, cijanovodik nastaje izgaranjem plastike, fozgen nastaje izgaranjem materijala na osnovi vinila itd.[25,26] Slijedom navedenog, više smrtnih slučajeva nastane otrovanjem nego direktnim djelovanjem požara na čovjeka.[27]

Iako se vatrogasci prilikom interveniranja koriste zaštitnom opremom kako za tijelo tako i za dišne organe posljednje studije su pokazale da su vatrogasci tijekom i nakon požara „kontaminirani“ kemikalijama poput policikličkih aromatskih ugljikovodika koji uzrokuju nekoliko vrsta malignih oboljenja.

Ispitivanja su otkrila policikličke aromatske ugljikovodike na požarištima kao i u vatrogasnim domovima te osobnoj zaštitnoj opremi. Razumijevanjem negativnih utjecaja raznih toksičnih čestica potrebno je zaštititi zdravlje interventnog osoblja koje se na svakodnevnoj bazi bori s požarima, a ujedno i izlaže toksičnim spojevima.

ZAKLJUČAK

Gledano s vatrogasnog stajališta poznavanje svog neprijatelja, požara, olakšava donošenje kvalitetnih odluka glede spašavanja i gašenja požara.

Građevinski materijali i materijali u kućanstvu iz dana u dan ostavljaju nedorečena svojstva ponašanja istih u požaru. Čovjekova želja za lagodnijim životom potaknula je industriju na promjenu u načinu gradnje, povećali smo prostorije, otvorili tlocrt, što znači da požar ima gotovo neograničenu količinu kisika za svoj razvoj u zatvorenom prostoru. U takve prostore stavili smo sintetičke materijale, a samim time i povećali požarno opterećenje samih prostorija. Prilikom požara sintetika otpušta toplinu (energiju) u jedinici vremena mnogo brže te mehanizmi prijenosa topline puno brže zahvaćaju gorivi materijal. Kao rezultat, požar brže prelazi u fazu flashovera.

Ispitivanje je pokazalo kako moderni prozori i vrata propadaju brže nego materijali ranije gradnje. Zidne obloge propadaju brže nego žbuka te slijedom navedenog požar brže napušta prostoriju u kojoj je započeo. Na tržištu postoje materijali i sistemi gradnje koji deklariraju veća vatrootporna svojstva od materijala obuhvaćenih ispitivanjem, međutim njihovo korištenje u širokoj potrošnji mnogo je rjeđe budući da kvalitetu uvjetuje i cijena. Ipak jedna činjenica koja je analizom dokazana je da materijali koje smo koristili nekada sporije gore te se time i požar sporije razvija ostavljajući korisnicima objekta dovoljno vremena za sigurno napuštanje objekta (i do 15 minuta). Danas su se ti vremenski okviri višestruko smanjili, ljudski život je sve više ugrožen ne samo požarom koji se razvije za 3 minute nego i otrovnim produktima sagorijevanja.

Razumijevanjem negativnih utjecaja raznih toksičnih čestica potrebno je zaštititi zdravlje korisnika objekata kao i interventnog osoblja. Vatrogasna struka postala je svjesna problematike krutih i plinovitih čestica produkata gorenja koje vatrogasci apsorbiraju što udisanjem što dermalno. Kao neželjene posljedice istraživanja pokazuju kako su vatrogasci više podložniji kancerogenim oboljenjima nego ostalo pučanstvo. Svjesni problematike, razvijaju se modeli zaštite vatrogasaca nakon vatrogasnih intervencija, zbrinjavanjem kontaminirane opreme, obuču i odjeću

te čišćenjem iste sve s ciljem zaštite zdravlja. U RH vatrogasne postrojbe pokušavaju pratiti korak s razvijenijim zemljama u svijetu po pitanju zaštite zdravlja pa tako neke profesionalne postrojbe imaju dva kompleta zaštitnih odijela gdje svaki korisnik svoje kontaminirano odijelo daje na pranje, a zadužuje novo čisto spremno za sljedeću intervenciju. Isto tako, razvoj obučnih centara za vatrogasce te edukacija vatrogasaca u tzv. „Flashover simulatorima“, gdje se u sigurnim uvjetima provodi obuka ponašanja požara u zatvorenim prostorima, predstavlja dobar temelj za sigurno postupanje na intervencijama strukturnih požara, a sve s ciljem kako bi što bolje upoznali i razumjeli opasnosti koje takvi požari kriju.

Ukoliko industrija nastavi razvijati nove „moderne“ materijale, budućnost predstavlja velik izazov za vatrogasnu struku.

LITERATURA

- [1] NFPA., "Fundamentals of Fire Fighter Skills", Jones and Bartlett Publishers (2008). ISBN 0-7637-2233-2
- [2] IFSTA, "Structural firefighting : initial response strategy and tactics", Bord of Regents (2010.), ISBN 978-0-87939-395-3
- [3] Corbet G., "Fire engineering's handbook for firefighter I & II", PennWell Corporation (2009.), ISBN 978-1-59370-135-2
- [4] Pavelić Đ., „Ponašanje građevinskih materijala u požaru“, <https://hrcak.srce.hr/file/225446>, pristupljeno 05.08.2020.
- [5] Carević M. „Novi sustav EU klasifikacije građevinskih konstrukcija; elemenata i materijala“http://huzop.hr/wpcontent/uploads/2014/12/EN_NORME_SEMINAR_30112011.pdf, prikupljeno 01.09.2020.
- [6]. Pravilnik o otpornosti na požar i drugim zahtjevima koje građevine moraju zadovoljiti u slučaju požara, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2013_03_29_505.html
- [7] Pichler T., „Klasifikacija podnih obloga prema reakciji na požar -HRN EN 13501-1“. <https://hrcak.srce.hr/file/117703>, prkupljeno 06.08.2020.
- [8]. Harper C., „Handbook of bulding maerials for fire protection“, The McGraw-Hill Companies (2004.), ISBN 0-07-143330-9
- [9] Terrabija, „Drvo kao građevinski materijal i prirodna sredstva za njegovu zaštitu“, <http://terrabija.com/2016/08/02/168/>, prikupljeno 05.08.2020.
- [10] Kopričanec – Matijevac Lj., „Građevinski materijali u požaru – reakcija na požar“ <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali13/13A02.pdf>, prikupljeno 05.08.2020.

- [11]. „Zaštita od požara u graditeljstvu“, <http://pubweb.carnet.hr/vzgnm/wp-content/uploads/sites/157/2014/09/GRAD-casnik.pdf>, prikupljeno 06.08.2020.
- [12]. Wikipedija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Opeka>, prikupljeno 06.08.2020.
- [13]. „Stiropor ili stirodur“, https://www.emajstor.hr/clanak/5/Stiropor_ili_stirodur, prikupljeno 07.08.2020.
- [14]. TheWick.info, „Opasnost od požara građevinskih materijala“, <https://thewick.info/5509-fire-hazard-of-building-materials.html>, prikupljeno 20.08.2020.
- [15]. Skejić D, Boko I, Torić N, „Aluminij kao materijal za suvremene konstrukcije“, Građevinar 67 (2015.), <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-67-2015-11-3-1395.pdf>, prikupljeno 10.08.2020.
- [16]. Wikipedija, https://en.wikipedia.org/wiki/Sandwich_panel#ACP, prikupljeno 11.08.2020.
- [17]. „Materials found in the construction of High-rise buildings“, <http://www.highrisefirefighting.co.uk/material.html>, prikupljeno 1.09.2020.
- [18]. Kerber S. „Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes“ Fire Technology, 48, 865–891, Springer Science+Business Media, LLC. Manufactured in The United States (2011.)
- [19]. Kerber S. “Impact of ventilation of fire behavior in legacy and contemporary residential construction“(2010), https://ulfirefightersafety.org/docs/DHS_2008_Grant_Report_Final.pdf, prikupljeno 05.09.2020.
- [20]. FASNY, “What are we getting ourselves....“, https://fasny.com/magazine_articles/getting-impacts-modern-building-

[techniques-firefighting-efficiency-effectiveness-safety/](#), prikupljeno

01.09.2020.

[21]. NIDA protupožarni sustavi, (7/2019.), <https://www.siniat.hr/hr-HR/download/file/hr/82f9d8a2dae34bb1ab80a915006cb747/sustavi-protupozarnih-gipskartonskih-ploca-nida-katalog-siniat?rev=b4dc159a-c7ff-4d6c-ab38-8d128e24a5e1>, prikupljeno 05.09.2020.

[22]. Jakovac G, „Kontrola tvorničke proizvodnje“, https://ift-hrvatska.com/wp-content/uploads/2018/12/ktp_i_kaskadni_sustav.pdf, prikupljeno 05.09.2020.

[23]. “Kako projektirati građevinu sigurno od požara“, <https://mipcro.hr/blog/zastita-od-pozara-zgrade-51/>, prikupljeno 05.09.2020.

[24]. Zakon o zaštiti od požara, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_92_2588.html, prikupljeno 05.09.2020.

[25]. Kodur V, Kumar P, Rafi M, „Fire hazards in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety“, Fire hazard in buildings (2019.), <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/PRR-12-2018-0033/full/pdf?title=fire-hazard-in-buildings-review-assessment-and-strategies-for-improving-fire-safety>, prikupljeno 10.09.2020.

[26]. Williams C, Smoked out: Are firefighters in more danger than ever before? “ (2016.), <https://www.ehstoday.com/emergency-management/article/21917746/smoked-out-are-firefighters-in-more-danger-than-ever-before>, prikupljeno 10.08.2020.

[27]. NFPA, „Reporter’s guide: the consequences of fire“ (2018), <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Press-Room/Reporters-Guide-to-Fire-and-NFPA/Consequences-of-fire>, prikupljeno 10.09.2020.

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

%	Postotak
°C	Stupanj Celzijev
m ³	Oznaka za površinu, metar kubni
mm	Oznaka za duljinu, milimetar
cm	Oznaka za duljinu, centimetar
m	Oznaka za duljinu, metar
kW	Snaga, Kilovat
MJ	Energija, rad, količina topline, mega džul
CO	Ugljičn dioksid
CO ₂	Ugljični monoksid

POPIS SLIKA

Slika 1. Faze razvoja požara krutina.[4]	5
Slika 2. Pregradni zid.[21]	24
Slika 3. Pregradni zid 180.[21]	24
Slika 4. Prikaz termokamere prilikom eksperimenta.[19].....	27
Slika 5. Razvoj požara u modernoj sobi.[19]	30
Slika 6. Soba s materijalima iz sredine 20. stoljeća.[19].....	31
Slika 7. Krivulja razvitka požara - moderna soba/stara soba.[19].....	32

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klasifikacija materijala prema gorivosti HR DIN 4102.[4].....	9
Tablica 2. Razredi građevinskih materijala s obzirom na reakciju u požaru prema HRN EN 13501-1.[5].....	10
Tablica 3. Usporedni prikaz razreda reakcije na požar s razredima gorivosti.[5].....	10
Tablica 4. Otpuštanje štetnih plinova prilikom gorenja umjetnih materijala.[4]	22
Tablica 5. Evolucija konstrukcijskih materijala.[18]	23
Tablica 6. Vrste prozora upotrebljenih u eksperimentu.[18]	25
Tablica 7. Usporedni vremenski okvir nastupa flashovera.[19]	34