

# SIMULATOR PLAMENIH UDARA NA KRUTA GORIVA

---

Šimunović, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:128:540821>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



**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

Hrvoje Šimunović

# **SIMULATOR PLAMENIH UDARA NA KRUTA GORIVA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2023.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Hrvoje Šimunović

# **FIRE BLASTING SIMULATOR ON SOLID FUEL**

Final paper

Karlovac, 2023.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Hrvoje Šimunović

# **SIMULATOR PLAMENIH UDARA NA KRUTA GORIVA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Marko Ožura, v.pred.

Karlovac, 2022.



**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: Sigurnost i zaštita  
(označiti)

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 07.06.2023

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Hrvoje Šimunović

Matični broj: 0416617048

Naslov: SIMULATOR PLAMENIH UDARA NA KRUTA GORIVA

Opis zadatka:

Uvodno opisati problematiku zadatka, napraviti podjelu i opisati uređaj. Kroz literaturu izvući postojeće podatke i pregled. U zaključku dati vlastito mišljenje na temelju svih izvora i literature. Pravilno citirati sve korištene izvore literature.

## **Predgovor**

Ovaj rad nastao je kao spoj nekoliko životnih afiniteta koje autor ima. To su ljubav prema vatrogasnoj djelatnosti, ljubav prema fizičkoj spremi i završetak studija sigurnosti i zaštite. Rad je nastajao u više faza te je pisanje samog rada bio dug proces. Proces bi bio još duži da na raspolaganju nije bio strpljivi mentor koji je imao volje čitati rad i predlagati ispravke te obitelj koja je izravno i neizravno poticala autora da završi ono što je započeo.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POŽAR U ZATVORENOM PROSTORU .....	2
2.1. Požar u zatvorenom i požar na otvorenom prostoru.....	3
2.2. Osnovni principi dinamike požara .....	4
2.2.1. Osnovni principi dinamike požara na unutarnjim požarima .....	5
2.3. Posebne opasnosti vezane uz unutarnje požare .....	6
3. PLAMENI UDARI .....	8
3.1. Flashover .....	8
3.2. Backdraft .....	11
3.3. Ostali oblici plamenih udara .....	14
3.3.1. Odgođeni plameni udar.....	14
3.3.2. Pritajeni plameni udar .....	14
3.3.3. Rollover ili flameover .....	14
4. SIMULATORI PLAMENIH UDARA .....	16
4.1. Građa simulatora na kruta goriva .....	17
4.2. Izvođenje vježbe u simulatoru na kruta goriva .....	21
4.3. Uvježbavanje u simulatoru na kruta goriva .....	23
5. SIGURNOST U SIMULATORUA .....	25
6. RASPRAVA: SIMULATOR NA KRUTO GORIVO I PLINSKI SIMULATOR .....	29
7. ZAKLJUČAK .....	31
LITERATURA .....	32
POPIS SLIKA .....	34



## 1. UVOD

Gašenje požara složen je i opasan zadatak koji zahtijeva opsežnu obuku i pripremu. Vatrogasci moraju biti spremni suočiti se sa širokim rasponom scenarija, od malih požara do velikih, intenzivnih požara koji prijete životima i imovini. Posljednjih godina simulatori vatrenih udara postali su moćan alat za obuku vatrogasaca, pružajući sigurno i kontrolirano okruženje za polaznike kako bi stekli iskustvo u upravljanju različitim vrstama požara.

Simulatori plamenih udara koriste inovativan pristup za stvaranje realističnih scenarija požara, omogućujući vatrogascima da razviju svoje vještine i stručnost na način koji blisko oponaša izazove s kojima će se suočiti na terenu. U ovom diplomskom radu istražit će se razvoj, dizajn i primjenu simulatora plamenih udara na kruta goriva koji se koristi u obuci vatrogasaca, ispitujući njegove prednosti i ograničenja te istražujući njegov potencijal za poboljšanje sigurnosti i učinkovitosti vatrogasaca. Kroz pregled postojeće literature i studije slučaja specifičnog simulatora vatrenih udara na kruta goriva, ovaj će rad pružiti uvid u ovu vrhunsku tehnologiju i njenu ulogu u oblikovanju sadašnjosti, ali i budućnosti obuke vatrogasaca.

Rad je strukturiran u sedam velikih poglavlja koja su podijeljena na manje cjeline. Prvo poglavlje uvodno je poglavlje koje pruža uvid u problematiku rada. Drugo poglavlje obrađuje temu unutarnjeg požara, budući da su simulatori plamenih udara, bilo na kruta, bilo na plinska goriva uvijek simulatori plamena zatvorenog prostora. Treće poglavlje prikazuje plamene udare općenito kako bi se shvatilo što je točno uloga simulatora. Četvrto poglavlje govori o simulatorima, specifičnije, o simulatoru plamenih udara na kruta goriva te načinu na koji se u njima obavljaju vježbe. Peto poglavlje obrađuje aspekt sigurnosti rada sa simulatorima plamenih udara te vrstu i svojstva zaštitne opreme. Šesto poglavlje koncipirano je kao rasprava u kojoj se uspoređuju simulator na plin te simulator na kruta goriva, a posljednje poglavlje je sami zaključak rada.

## 2. POŽAR U ZATVORENOM PROSTORU

Požari u zatvorenim prostorima značajan su problem u cijelom svijetu, jer uzrokuju brojne ozljede, smrtne slučajeve i materijalnu štetu svake godine. Požari u zatvorenim prostorima mogu biti uzrokovani nizom čimbenika. Požari se mogu podijeliti na one proizišle iz ljudske pogreške i na one proizišle iz tehničke neispravnosti opreme bilo koje vrste. Pogreške ljudske vrste dijele se na namjerno podmetnute požare i na požare izazvane nepažnjom i nepravilnim rukovanjem.

Posljedice požara u zatvorenim prostorima mogu biti teške, kako u smislu ljudskih života tako i materijalne štete. Dim i otrovni plinovi koje stvara požar u zatvorenom prostoru mogu izazvati iritaciju dišnog sustava, oštećenje pluća pa čak i smrt. Širenje požara može biti brzo i nepredvidivo, osobito u zatvorenim prostorima u kojima su prisutni zapaljivi materijali. Pristup prostorima može biti ograničen što dodatno povećava nematerijalnu i materijalnu štetu. [1]

Učestalost unutarnjih požara razlikuje se ovisno o regiji i vrsti gradnje, ali česta su pojava u stambenim i poslovnim zgradama. Prema Nacionalnoj udruzi za zaštitu od požara (NFPA) SAD-a, samo u Sjedinjenim Državama, procjenjuje se da je u 2020. bilo 379.600 požara u stambenim zgradama, što je rezultiralo s 3.655 smrtnih slučajeva, 15.200 ozlijeđenih i materijalnom štetom od 7,8 milijardi dolara. Uz to, procjenjuje se da je bilo 105.000 požara u nestambenim zgradama, što je rezultiralo s 85 smrtnih slučajeva, 1.325 ozlijeđenih i materijalnom štetom od 2,4 milijarde dolara. [2]

Nekoliko čimbenika može povećati rizik od požara u zatvorenom prostoru:

- Nedostatak obrazovanja i obuke o zaštiti od požara
- Korištenje zastarjelih ili neispravnih električnih instalacija ili uređaja
- Nepravilno skladištenje ili uporaba zapaljivih materijala
- Pušenje u zatvorenom prostoru
- Zanemarivanje održavanja uređaja i sustava grijanja
- Paljevina ili druge namjerne radnje podmetanja požara
- Neispravna gradnja objekata [1]

Sprječavanje požara u zatvorenim prostorima zahtijeva kombinaciju edukacije o zaštiti od požara, projektiranja zgrada i građevinskih kodeksa, sustava za suzbijanje požara i postupaka za hitne slučajeve. Osim toga, instaliranje detektora dima i protupožarnih alarma može pomoći u tome da se osobe koje se nalaze u zatvorenom prostoru pravovremeno koordiniraju te napuste prostor i potraže pomoć kako bi se minimalizirala materijalna šteta koju požar izaziva.

Općenito, požari u zatvorenim prostorima predstavljaju značajan izazov za javnu sigurnost i zaštitu imovine, zahtijevajući stalna istraživanja, obrazovanje i inovacije kako bi se smanjila njihova učestalost i ozbiljnost.

## **2.1. Požar u zatvorenom i požar na otvorenom prostoru**

Jedna od osnovnih razlika nalazi se u uzroku požara. Požare u zatvorenom prostoru obično uzrokuju čimbenici kao što su električni kvarovi, nesreće pri kuhanju, uređaji za grijanje, pušenje... S druge strane, požari na otvorenom često su uzrokovani čimbenicima kao što su udari groma, logorske vatre, šumski požari izazvani vrućinom i nepažnjom. Nažalost, određeni broj požara i na otvorenom prostoru i u zatvorenom prostoru posljedica je podmetanja. [3]

Različiti su i izvori goriva. Gorivo unutarnjih požara najčešće su umjetni materijali podložni gorenju koji pri gorenju nerijetko oslobađaju ne samo iritirajuće, nego i toksične plinove. Gorivo vanjskih požara češće su prirodni materijali poput vegetacije koja raste na nekom području. [3]

Jedna od razlika je i način širenja požara. Unutarnji se požari često brzo i nepredvidivo šire unutar zatvorenih prostora, dok se vanjski požari mogu širiti sporije i na njih mogu utjecati vremenski uvjeti, topografija i dostupnost goriva. Pri visokim vanjskim temperaturama te uz vjetar koji može biti katalizator i vanjski se požari mogu širiti brzo i nepredvidivo, postajući nemogućima za ugasiti ih. [3]

Požari u zatvorenim prostorima mogu imati značajan utjecaj na ljudsko zdravlje i sigurnost zbog ispuštanja otrovnog dima i plinova, kao i mogućnosti brzog širenja požara i oštećenja imovine. Vanjski požari također mogu imati utjecaja na zdravlje i sigurnost ljudi, osobito onih s respiratornim problemima, ali također mogu imati ekološki utjecaj na staništa divljih životinja i prirodne resurse. Od vanjskih je požara obično lakše pronaći sklonište. [3]

Sprečavanje požara u zatvorenim prostorima zahtijeva mjere kao što su obrazovanje o zaštiti od požara, projektiranje zgrada u skladu s građevinskim kodeksima, sustave za suzbijanje požara i poznavanje postupanja u hitnim slučajevima. Sprječavanje i ublažavanje požara na otvorenom često prvenstveno se odnosi na mjere kao što su obrazovanje o zaštiti od požara, upravljanje vegetacijom i sredstva za gašenje požara poput zrakoplova i opreme. [3]

Unutarnji požari znatno su češći od požara na otvorenom, jer ljudi provode više vremena u zatvorenim prostorima nego u prirodnom okruženju. Također, u unutarnjim prostorima puno je veća vjerojatnost neispravnih uređaja i instalacija kao i ljudske pogreške pri rukovanju istima. Međutim, vanjski požari mogu se češće pojaviti u područjima karakterističnima za šumske požare ili tijekom razdoblja suše ili ekstremnih vremenskih uvjeta. [3]

Unutarnjim požarima često upravljaju lokalne vatrogasne službe i hitne službe, dok vanjskim požarima može upravljati kombinacija lokalnih, državnih i saveznih organizacija, a svake se godine u veći broj požara uključuju i vatrogasci iz različitih zemalja, ovisno o nadležnosti i razmjerima požara. [3]

Pretežito su požari na otvorenom prostoru veći te ugrožavaju ekološki sustav, dok su požari u unutarnjim prostorima manji, opasniji, no lokaliziraniji.

## **2.2. Osnovni principi dinamike požara**

Dinamika požara proučava kako požari nastaju, rastu i šire se. To je multidisciplinarno područje koje uključuje zakone iz kemije, fizike i inženjerstva. Ključna načela dinamike požara temelje se na slijedećim principima:

**Kemija izgaranja:** izgaranje je kemijska reakcija koja se odvija između goriva, kisika i topline kao katalizatora (ne kao reagensa), što rezultira proizvodnjom energije u obliku topline i svjetlosti. Tri elementa vatrenog trokuta - gorivo, kisik i toplina - moraju biti prisutna da bi došlo do izgaranja. Kemija izgaranja uključuje interakciju različitih kemijskih vrsta, uključujući ugljikovodike, kisik, dušik i druge plinove. Konačni produkt izgaranja organskih tvari uvijek je ugljikov dioksid koji nije otrovan, no ni ne podržava disanje. Za unutarnje požare karakterističniji produkti izgaranja su plinovi koji su toksični. [4]

**Mehanizmi prijenosa topline:** Prijenos topline je prijenos toplinske energije s jednog tijela na drugo, a uvijek na način da temperatura prelazi s toplijeg tijela na hladnije. U

dinamici požara postoje tri glavna mehanizma prijenosa topline: kondukcija, konvekcija i zračenje. Kondukcija je prijenos topline kroz čvrsti materijal, dok je konvekcija prijenos topline kretanjem tekućina, poput zraka ili vode. Zračenje je prijenos topline putem elektromagnetskih valova. [4]

Dinamika plamenih fluida: Plamenovi su složene, trodimenzionalne strukture koje oblikuje dinamika fluida okolnog zraka. Na plamen utječu čimbenici kao što su turbulencija, uzgon i miješanje. Osim toga, plamen može pokazivati različite vrste ponašanja, koji se manifestiraju kao ravnomjerno i nestabilno gorenje, širenje plamena i gašenje. [4]

Općenito, dinamika požara složeno je područje koje uključuje interakciju mnogih različitih fizikalnih i kemijskih procesa. Razumijevanje temeljnih principa dinamike požara ključno je za razvoj učinkovitih strategija za prevenciju i suzbijanje požara, kao i za projektiranje zgrada i struktura koje mogu odoljeti učincima požara.

### **2.2.1. Osnovni principi dinamike požara na unutarnjim požarima**

Kod požara u zatvorenim prostorima, na kemiju izgaranja utječu vrste materijala koji gore i količina kisika dostupna u zatvorenom prostoru. Ovisno o izvoru goriva, mogu se pojaviti različite reakcije izgaranja, što može rezultirati stvaranjem različitih produkata izgaranja, uključujući dim, čađu i otrovne plinove. Prisutnost ovih nusproizvoda može utjecati na vidljivost unutar prostora, kao i na zdravlje stanara. Također, kako se radi o zatvorenom prostoru, manji je gubitak topline pa se u kratkom vremenu mogu osloboditi više temperature. Kako se često radi o nedostatku kisika, kao produkt izgaranja može se oslobađati ugljikov monoksid umjesto ugljikova dioksida koji je otrovan za ljude, ali i biljke i životinje. [5]

U zatvorenom prostoru mehanizmi prijenosa topline razlikuju se od onih u otvorenom prostoru. Zračenje i konvekcija su primarni načini prijenosa topline u zatvorenom prostoru, ali kondukcija također može igrati ulogu. Kako vatra raste, toplina se zračenjem prenosi na obližnje površine, što može uzrokovati da se te površine zapale i nastave gorjeti. Konvekcija uzrokuje dizanje vrućih plinova koje stvara vatra i širenje prostorom, potencijalno zapaljujući nove prostore. [5]

U zatvorenom prostoru, na dinamiku fluida plamena utječu geometrija i ventilacija prostora. Ograničena opskrba zrakom u zatvorenom prostoru može uzrokovati nedostatak kisika u plamenu, što može dovesti do nepotpunog izgaranja i stvaranja

čade i drugih nusproizvoda. Oblik i ventilacija prostora također mogu utjecati na ponašanje plamena, pri čemu se plamen brže širi u uskim prostorima i oko uglova prostorija. U zatvorenom prostoru lakše je kontrolirati fluide plamena. [5]

Sve u svemu, principi dinamike požara imaju značajan utjecaj na ponašanje plamena u zatvorenim prostorima. Ovo razumijevanje ključno je za dizajniranje učinkovite strategije za prevenciju i suzbijanje požara, kao i za što bolji odgovor na unutarnje požare.

### **2.3. Posebne opasnosti vezane uz unutarnje požare**

Jedna od osnovnih opasnosti specifičnih za požare u unutarnjem prostoru je vrsta goriva. Mnogi materijali koji se nalaze u zatvorenim prostorima mogu biti vrlo zapaljivi i pridonijeti širenju požara. Najčešći primjeri nalaze se u svakoj kući. Namještaj, tekstil, papir i drugi zapaljivi materijali ujedno su i otrovni pri izgaranju. Građevinski materijali poput izolacije i ožičenja također mogu pridonijeti širenju požara. [6]

Za razliku od požara na vanjskim prostorima, u unutarnjim je prostorima puno veći broj izvora plamena. Postoje mnogi potencijalni izvori paljenja u zatvorenim prostorima, poput opreme za grijanje, električnih uređaja, opreme za kuhanje i cigareta. Nepropisno održavana ili neispravna oprema također je nerijetko izvor plamena u zatvorenom prostoru. [6]

Uvjeti ventilacije unutar zatvorenog prostora mogu značajno utjecati na širenje vatre i dima. Loša ventilacija može uzrokovati nakupljanje dima i otrovnih plinova, što otežava bijeg od plamena i predstavlja opasnost po zdravlje. S druge strane, prekomjerna ventilacija može doprinijeti širenju požara jer se tako osigurava dovoljna količina kisika za požar. [6]

Utjecaj požara u zatvorenom prostoru na zdravlje i sigurnost može biti značajan. Ozljede, smrtni slučajevi i materijalna šteta mogući su ishodi požara u zatvorenom prostoru. Utjecaji mogu varirati ovisno o jačini požara i karakteristikama interijera prostora zahvaćenog plamenom. [6]

Najčešće ozljede su opekline i udisanje dima. Opekline su posljedica kontakta tijela s vrućim zrakom, predmetom ili izravno kontakta kože i plamena, a udisanje dima je posljedica oslobađanja otrovnih plinova. Ovisno o jačini požara, ozljede mogu varirati od lakših do po život opasnih.

Požari u zatvorenim prostorima mogu biti smrtonosni, osobito ako osobe koje su boravile u nekom prostoru ne mogu pobjeći na vrijeme. Udisanje dima, opekline i druge ozljede mogu doprinijeti smrtnim slučajevima.

Požari u zatvorenom prostoru mogu uzrokovati značajnu štetu na zgradama i njihovom sadržaju. To može rezultirati znatnim financijskim gubicima.

Dim i otrovni plinovi koji nastaju uslijed požara u zatvorenim prostorima mogu imati ozbiljne utjecaje na zdravlje. Iako se posljedice požara ne moraju vidjeti neposredno nakon požara, to ne znači da one nisu prisutne. Zbog toga je osobe koje su bile izložene otrovnim plinovima potrebno detaljno pregledati. [6]

Općenito, bitno je poduzeti korake za sprječavanje požara u zatvorenom prostoru i brzo i primjereno reagirati u slučaju požara kako bi se smanjio mogući utjecaj na zdravlje i sigurnost. Ukoliko do požara dođe, potrebno je da u svim prostorima postoji adekvatna oprema za gašenje požara za prvu ruku kao i prikladni putevi za napuštanje prostorija.

### 3. PLAMENI UDARI

Specifične pojave za požare zatvorenog prostora su:

- Trenutno prostorno buknuće (flashover)
- Povratno prostorno buknuće (backdraft)
- Ostale oblike plamenih udara:
  - Odgođeni plameni udar
  - Pritajeni plameni udar
  - Površinsko buknuće (roolover ili flameover) [7]

#### 3.1. Flashover

Flashover je pojava koja se događa kada požar u zatvorenom prostoru dosegne kritičnu točku u kojoj se svi zapaljivi materijali u prostoriji istovremeno zapale, što rezultira naglim i intenzivnim povećanjem topline i plamena. To se može dogoditi kada toplina iz vatre uzrokuje da sadržaj prostorije dosegne temperaturu paljenja i zapali se gotovo istovremeno, što rezultira vatrenom kuglom koja proguta cijeli prostor. [8]

Neoprezno ostavljena cigareta na kauču može zapaliti deku na kauču te će gorjeti samo kauč. Ipak, kako je ranije spomenuto, požar se širi i radijacijom. Gorenje kauča proizvodi visoku temperaturu koja se ne smanjuje jer se radi o požaru zatvorenog prostora. Kako se temperatura povećava požar ne će zahvatiti samo predmet u neposrednoj blizini, nego i predmete koji su udaljeni nekoliko metara. Kako je velik broj stvari zatvorenog prostora napravljen od sličnih materijala – drvo ili različite vrste polivinil klorida, točka paljenja uzrokovana visokom temperaturom vrlo je slična. [8]

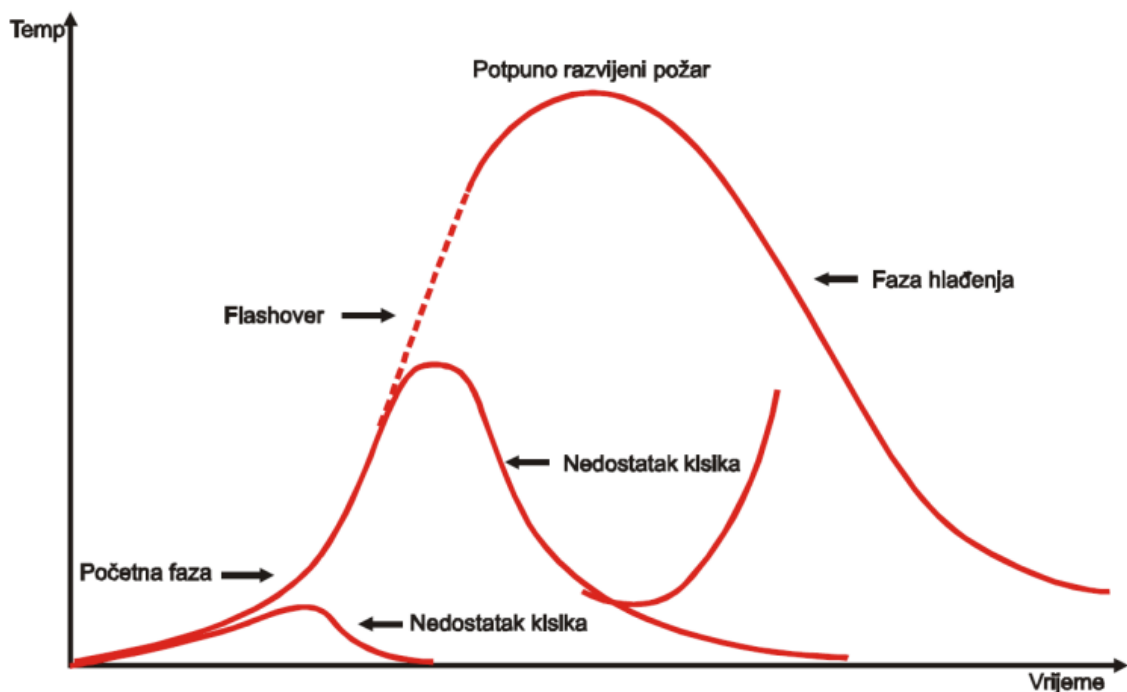
Flashover se može dogoditi unutar nekoliko minuta od izbijanja požara, a to je izuzetno opasna situacija za vatrogasce i bilo koga drugog u tom području. Jaka toplina i plamen mogu uzrokovati opekline, udisanje dima, pa čak i smrt. Dodatno, brzo sagorijevanje sveg raspoloživog goriva u prostoru može rezultirati naglim porastom temperature, što može uzrokovati zapaljenje obližnjih zapaljivih materijala i dalje širenje požara. [8]

Flashover može biti potaknut nizom čimbenika, uključujući veličinu i mjesto požara, količinu zapaljivog materijala u prostoriji i uvjete ventilacije. Kada vatra gori u zatvorenom prostoru, toplina i dim proizvedeni vatrom mogu se akumulirati u blizini stropa, stvarajući vrući sloj plinova. Ako dođe do iznenadnog dotoka zraka u prostoriju,



primjerice kada se otvore prozor ili vrata, svježi zrak može se pomiješati s vrućim plinovima i zapaliti, izazivajući flashover. [8]

Kako bi spriječili flashover, vatrogasci koriste različite taktike - kontrolu ventilacije kako bi se ograničila količina kisika dostupna vatri, hlađenje prostorije vodom ili drugim sredstvima za gašenje i uklanjanje zapaljivih materijala iz prostorije. Osim toga, vatrogasci nose zaštitnu opremu koja je dizajnirana da ih zaštiti od jake topline i plamena povezanih s flashoverom.



Slika 3.1. Razvoj flashovera [7]

Slika 3.1. pokazuje razvoj Flashovera. Kako je vidljivo na slici, flashover može značajno povećati temperaturu u prostoriji što dodatno produžuje i fazu hlađenja.

Čimbenici koji utječu na flashover:

- Opterećenje gorivim materijalom: Količina i vrsta zapaljivih materijala u prostoriji može imati značajan utjecaj na vjerojatnost flashovera. Visoka količina goriva može dovesti do bržeg i intenzivnijeg požara, povećavajući rizik od flashovera.
- Ventilacija: Količina i položaj ventilacijskih otvora u prostoriji može utjecati na brzinu oslobađanja topline vatre i protok vrućih plinova, što može utjecati na

vjerojatnost pojavljivanja flashovera. Nagle promjene ventilacije također mogu uzrokovati flashover.

- Veličina požara: Veličina požara je kritičan čimbenik u određivanju vjerojatnosti izbijanja plamena. Veći požar može proizvesti više topline i plinova, povećavajući rizik od flashovera.
- Visina stropa: Visina stropa može utjecati na nakupljanje vrućih plinova i vjerojatnost bljeska. Viši strop može omogućiti nakupljanje više vrućih plinova, što može povećati rizik od flashovera. [9]

Čimbenici koji utječu na izloženost ljudi:

- Blizina požara: Što je osoba koja reagira bliže vatri, to je veći rizik od izlaganja toplini, dimu i drugim opasnim uvjetima.
- Zaštitna oprema: Vrsta i kvaliteta zaštitne opreme koju nose osobe koje su u blizini mogu imati značajan utjecaj na njihovu izloženost toplini, dimu i drugim opasnostima.
- Trajanje izloženosti: Što je dulje osoba koja je prisutna izložena toplini, dimu i drugim opasnostima, to je veći rizik od ozbiljnih ozljeda.
- Ventilacija: Količina i položaj ventilacijskih otvora može utjecati na protok vrućih plinova i dima, što može utjecati na izloženost osoba. [9]

Znakovi nadolazećeg flashovera:

- Brzo povećanje topline: Kako temperatura u prostoriji raste, povećava se rizik od flashovera. Iznenadno, značajno povećanje topline znak je upozorenja na nadolazeći flashover.
- Gusti, tamni dim: Gusti, tamni dim znak je da vatra gori i da se približava uvjetima koji su podržavajući za razvoj flashovera.
- Zvukovi pucketanja: Zvukovi pucketanja i slični zvukovi mogu ukazivati na to da vatra intenzivno gori i može biti blizu postizanja uvjeta pogodnih za razvoj flashovera.
- Plamen koji se brzo kreće: plamen koji se kreće brzo i nepravilan je, znak je da vatra postaje intenzivnija i da se možda približava uvjetima flashovera.

- Iznenadni nestanak plamena: Ako plamen iznenada nestane, to bi moglo značiti da je vatra progutala sve raspoloživo gorivo i da je blizu postizanja uvjeta za razvoj flashovera. [9]

Prepoznavanje znakova za razvoj flashovera, čimbenika razvoja te adekvatnog položaja koji je pojedinac zauzeo u odnosu na plamen može biti ključno za spašavanje života.

### **3.2. Backdraft**

Backdraft ili prema doslovnom prijevodu povratna struja, potencijalno je smrtonosna pojava koja se događa kada vatra u zatvorenom prostoru ostane bez kisika koji podržava gorenje, a zatim se iznenada ponovno napuni kisikom. Taj nagli dotok kisika može uzrokovati brzo i eksplozivno sagorijevanje gorivih materijala i plinova koji su se nakupili u prostoru.

Backdraft se obično javlja u situacijama kada tinja vatra koja troši raspoloživi kisik u prostoriji ili zatvorenom prostoru. Kako se kisik iscrpljuje, može se činiti da se vatra gasi ili postaje manje intenzivna. Međutim, zapaljivi materijali u prostoriji nastavljaju stvarati zapaljive plinove, koji se mogu nakupiti i stvoriti opasnu situaciju. [10]

Ako svježi zrak iznenada uđe u prostor, primjerice kada se otvore vrata ili prozor, zrak bogat kisikom može zapaliti nakupljene plinove, uzrokujući snažnu eksploziju. Eksplozija može biti iznenadna i nasilna, raznijeti zidove, prozore i vrata i uzrokovati ozbiljnu štetu okolnom području. Eksplozija također može rezultirati brzim i intenzivnim požarom koji se može brzo proširiti i teško ga je kontrolirati. [10]

Backdraft je udar izuzetno opasan za vatrogasce i druge osobe koje djeluju u tom području. Iznenadna i eksplozivna priroda backdrafta može uhvatiti osobe koje reagiraju nespremljene i uzrokovati ozbiljne ozljede ili smrt. Osim toga, intenzivna toplina i plamen mogu uzrokovati opekline, udisanje dima i druga stanja opasna po život. [10]

Kako bi spriječili backdraft, vatrogasci koriste različite taktike - kontrolu ventilacije kako bi se ograničila količina kisika dostupna vatri, hlađenje prostorije vodom ili drugim sredstvima za gašenje i uklanjanje zapaljivih materijala iz prostorije. Osim toga, vatrogasci nose zaštitnu opremu koja je dizajnirana da ih zaštiti od jake topline i plamena koji mogu nastati kao posljedica backdrafta. [10]



Slika 3.2. razvoj backdrafta [10]

Kako je vidljivo na slici 3.2., iz zatvorenog prostora zahvaćenog požarom izbija dim, no plamen nije vidljiv zbog toga što nema dovoljno kisika za razvoj plamena. Nagli dotok kisika omogućuje razvoj intenzivnog plamena koji se može manifestirati i kao eksplozija.

Ako se sumnja na to da bi se mogao razviti backdraft, vatrogasci će obično koristiti termovizijske kamere ili drugu opremu za otkrivanje kako bi procijenili uvjete u prostoriji prije pokušaja ulaska. Također, mogu koristiti vodenu maglu ili druga sredstva za hlađenje kako bi snizili temperaturu i smanjili rizik od backdrafta. Važno je oprezno pristupiti svakoj potencijalnoj situaciji backdrafta i uvijek dati prioritet sigurnosti osoba koje reagiraju.

Čimbenici koji utječu na razvoj backdrafta:

- Vatra s nedostatkom kisika: backdraft se javlja kada je vatra potrošila sav raspoloživi kisik i stvorila veliku količinu zapaljivih plinova. Ti se plinovi nakupljaju u zatvorenom prostoru i stvaraju opasnu situaciju.

- Ventilacija: Do backdrafta može doći kada se ventilacija uvede u okolinu s nedostatkom kisika. Dotok kisika može zapaliti nakupljene zapaljive plinove, uzrokujući naglo i eksplozivno gorenje.
- Opterećenje gorivom: Količina i vrsta zapaljivih materijala u zatvorenom prostoru može utjecati na intenzitet i trajanje backdrafta.
- Temperatura: Temperatura zatvorenog prostora može utjecati na brzinu stvaranja plina i rizik od paljenja. [11]

Čimbenici koji utječu na izloženost ljudi:

- Blizina požaru: Osobe koje rade u neposrednoj blizini backdrafta izložene su velikom riziku od izlaganja toplini, plamenu i drugim opasnostima.
- Zaštitna oprema: Vrsta i kvaliteta zaštitne opreme koju nose osobe koje reagiraju mogu značajno utjecati na njihovu izloženost toplini, plamenu i drugim opasnostima.
- Trajanje izloženosti: Što je osoba koja reagira dulje izložena opasnim uvjetima povezanim s backdraftom, to je veći rizik od ozljede ili bolesti. [11]

Znakovi nadolazećeg backdrafta:

- Prozori ili zidovi umrljani dimom: Vidljivo nakupljanje dima i čađe na prozorima ili zidovima može značiti da u zatvorenom prostoru postoji vatra bez kisika.
- Nema vidljivog plamena: Kad vatra gori u zatvorenom prostoru s ograničenim kisikom, može biti malo ili nimalo vidljivog plamena. To može biti znak upozorenja na potencijalnu situaciju backdrafta.
- Okolina pod tlakom: Nakupljanje zapaljivih plinova u zatvorenom prostoru može stvoriti okolinu pod tlakom. Taj se pritisak može iznenada i eksplozivno osloboditi, ukazujući na potencijalni backdraft.
- Zvukovi pucketanja: Slično flashoveru, zvukovi pucketanja i slični zvukovi mogu ukazivati na nadolazeći backdraft jer vatra nastavlja tinjati i stvarati zapaljive plinove.
- Vruće površine: Vruće površine, kao što su ručke na vratima ili zidovi, mogu značiti da u zatvorenom prostoru gori vatra, čak i ako nema vidljivog plamena. [11]

### **3.3. Ostali oblici plamenih udara**

U praksi se pojavljuju i plameni udari koji po svojoj manifestaciji mogu podsjećati na flashover ili backdraft, no po principu nastanka su različiti te ih je potrebno klasificirati kao različite jer u praksi zahtijevaju drukčiji pristup nego backdraft ili flashover. [12]

#### **3.3.1. Odgođeni plameni udar**

Može se reći da je backdraft podvrsta odgođenog plamenog udara. Kod odgođenog plamenog udara radi se o nakupljanju zapaljivih smjesa plinova ili drugih goriva koji unatoč visokoj temperaturi zbog nedostatka određene komponente plamena ne gore, no nakupljaju se. Pogrešnom procjenom situacije, vatrogasci ili drugi djelatnici mogu rasplamsati žarište takvih područja što neminovno dovodi do plamenog udara. [12]

#### **3.3.2. Pritajeni plameni udar**

Pritajeni plameni udar također se bazira na nakupljanju plinova koji nisu zahvaćeni požarom. Razlika je u tome što su pri razvoju pritajenog udara plinovi nakupljeni u prostorijama koje nisu zahvaćene požarom te je dovoljna jedna iskra da se dogodi eksplozija. [12]

#### **3.3.3. Rollover ili flameover**

Rollover, također poznat kao flameover, pojava je koja se događa kada se toplina i plinovi iz vatre nagomilaju do točke u kojoj se zapale u kotrljajućem ili valovitom kretanju. Ovaj se fenomen razlikuje od flashovera ili backdrafta jer ne uključuje iznenadno i eksplozivno izgaranje. [13]

Do plamena obično dolazi u požaru s odjeljcima gdje se toplina i dim od požara nakupljaju na razini stropa (na najvišoj točki zatvorenog prostora). Kako temperatura raste, plinovi postaju sve gušći i zapaljiviji. Kada temperatura dosegne određenu točku, plinovi se zapale i prevrću u valovitom gibanju. To može biti vrlo opasno za vatrogasce, druge djelatnike i sve koji se zateknu u blizini i koji mogu raditi u tom području jer toplina i plamen mogu uzrokovati opekline i druge ozljede opasne po život puno brže nego obični plamen. [13]

Kako bi spriječili ovu pojavu, vatrogasci koriste različite taktike - kontrolu ventilacije kako bi ograničili količinu topline i plinova u odjeljku, hlađenje područja vodom ili drugim sredstvima za gašenje i uklanjanje zapaljivih materijala iz područja. Osim toga,

vatrogasci nose zaštitnu opremu koja je dizajnirana da ih zaštiti od jake topline i plamena. [13]

Najčešći znakovi rollovera slični su kao i kod flashovera i backdrafta, s malim razlikama:

Vruće površine: Vruće površine, poput zidova ili stropova, mogu značiti da temperatura u odjeljku raste te se plinovi oslobađaju većom brzinom.

Mrlje od dima: Mrlje od dima ili promjena boje na zidovima ili stropovima mogu ukazivati na nakupljanje topline i plinova u odjeljku. Mrlje također mogu značiti i visoku temperaturu koja je također preduvjet za razvoj rollovera.

Zvukovi pucketanja: Kao i kod flashovera i backdrafta, zvukovi pucketanja mogu značiti da postoji nadolazeći flameover jer vatra nastavlja tinjati i stvarati toplinu i plinove.

Smotani dim: Dim koji izgleda kao da se kotrlja ili skuplja na razini stropa može značiti da postoji nadolazeći flameover.

Gusti dim: Gusti dim koji izgleda kao da je zarobljen u zatvorenom prostoru može značiti da će uskoro doći do rollovera zbog toga što iznimno gusti dim obično znači da su se nakupili različiti zapaljivi plinovi. [13]



Slika 3.3. Flameover [13]

Na slici 3.3. prikazan je karakterističan prizor koji prethodi flameoveru. Na stropu je nakupljen gusti dim koji je smjesa zapaljivih plinova.

#### 4. SIMULATORI PLAMENIH UDARA

U poslu vatrogasaca ključno je osigurati maksimalnu količinu sigurnosti za vatrogasce. Zahvaljujući razvoju novih tehnologija danas se vatrogasci mogu uvježbavati u praktičnom smislu ne samo u trenutku intervencije, nego i na treningu. U svrhu obuke vatrogasaca osmišljeni su različiti uređaji koji omogućuju vatrogascima realno iskustvo susreta s vatrom.

Razvijeni su različiti virtualni sustavi koji su dobri za početnike, no razvijeni su i veliki i kompleksni uređaji u kojima vatrogasci mogu vježbati u realnim uvjetima. Ti uređaji nazivaju se simulatori.

Simulator za obuku vatrogasaca je uređaj ili sustav uređaja koji je dizajniran za simulaciju scenarija požara u stvarnom životu u svrhu obuke vatrogasaca i drugih osoba koje u svojem radu mogu biti izložene plamenu. Simulatori za obuku vatrogasaca mogu imati mnogo različitih oblika, od malih stolnih modela do velikih, višekatnih struktura. [14]

Simulatori za obuku vatrogasaca obično zahtijevaju upotrebu specijalizirane opreme i tehnologije za stvaranje realnih scenarija požara u kontroliranom okruženju. Na primjer, simulator za obuku požara može koristiti plamenike na propan, generatore dima i senzore topline za stvaranje realističnog scenarija požara, a istovremeno pruža instruktorima mogućnost kontrole intenziteta i trajanja požara. [14]

Osim simulacije scenarija požara, simulatori za obuku vatrogasaca mogu sadržavati i druge značajke kao što su prepreke, zatvoreni prostori i simulirane žrtve kako bi pomogli u obuci vatrogasaca u nizu različitih scenarija. Vatrogasci mogu vježbati svoje tehnike gašenja požara, kao što su regulacija ventilacije, potrage i spašavanje te gašenje, u sigurnom i kontroliranom okruženju. [14]

Simulatori za obuku vatrogasaca mogu biti učinkovit alat za pripremu vatrogasaca i drugih osoba koje prve odgovaraju na požare u stvarnom životu. Omogućavanjem sigurnog i kontroliranog okruženja za obuku, simulatori vatrogasne obuke mogu pomoći u poboljšanju vještina i spremnosti vatrogasaca, u konačnici pomažući u spašavanju života i smanjenju štete u slučaju stvarnog požara. [14]

Među simulatorima, posebno je značajan simulator plamenih udara, budući da su plameni udari jedna od najopasnijih situacija u kojoj se mogu naći vatrogasci.



Simulator plamenih udara vrsta je simulatora za obuku vatrogasaca koji je dizajniran za simulaciju scenarija požara u zatvorenom prostoru a kao čiji se ishod očekuju plameni udari poput flameovera, backdrafta ili rollovera. Simulatori plamenih udara obično zahtijevaju specijaliziranu opremu i tehnologiju za stvaranje realističnog scenarija požara, uključujući masivni požar koji može dosegnuti temperature do 2000 stupnjeva Celzijevih. [15]

Simulatori vatrenih udara mogu imati mnogo različitih oblika, ali obično zahtijevaju upotrebu specijaliziranih plamenika i sustava goriva za stvaranje velike, kontrolirane vatre. Simulatori također mogu uključivati značajke kao što su sustav za stvaranje dima, toplinski senzori i zvučni efekti za stvaranje realističnog okruženja za trening. [15]

Vatrogasci, ali i druge osobe koje prve reagiraju, mogu koristiti simulatore plamenih udara za obuku za scenarije u kojima se simuliraju požari zatvorenog prostora te požari velikih razmjera u kojima se razvijaju visoke temperature, poput onih koji bi se mogli dogoditi u petrokemijskom postrojenju ili rafineriji. Simulatori mogu pomoći vatrogascima da razviju svoje vještine u kontroliranju i gašenju ovakvih vrsta požara, a također im mogu pomoći da nauče kako djelovati u okruženjima s visokom temperaturom i visokim stresom. U teoriji, vatrogasci znaju čitati plamen – temperaturu, boju dima, gustoću dima... ipak, simulatori omogućavaju da se uči u stvarnim uvjetima. [15]

Osim za obuku vatrogasaca i drugih osoba koje prve reagiraju, poduzeća i organizacije također mogu koristiti simulatore plamenih udara za testiranje i procjenu opreme i sustava za suzbijanje požara u kontroliranom i sigurnom okruženju. Simulacijom realističnih scenarija požara, simulatori vatrenih udara mogu poboljšati sigurnost i učinkovitost sustava za suzbijanje požara, u konačnici pomažući u sprječavanju ili minimiziranju štete u slučaju stvarnog požara. [15]

#### **4.1. Građa simulatora na kruta goriva**

Trenutno su kontejneri za prijevoz robe prepoznati kao izričito dobro rješenje za gradnju simulatora. Kontejneri su dimenzija 6 x 2.5 x 2.5 metara, a napravljeni su od teškog čelika. To omogućava dovoljno prostora s jedne strane, a izvrsnu reakciju na plamen s druge strane. Kako bi se čelični kontejner rastalio, bilo bi potrebno razviti temperaturu od 1500 stupnjeva Celzijevih te izlagati kontejner toj temperaturi najmanje

četiri minute. Zbog svojih fizikalnih i kemijskih svojstava, čelik od kojeg su građeni kontejneri optimalan je materijal za građu simulatora na kruta, ali i na druga goriva. [16]

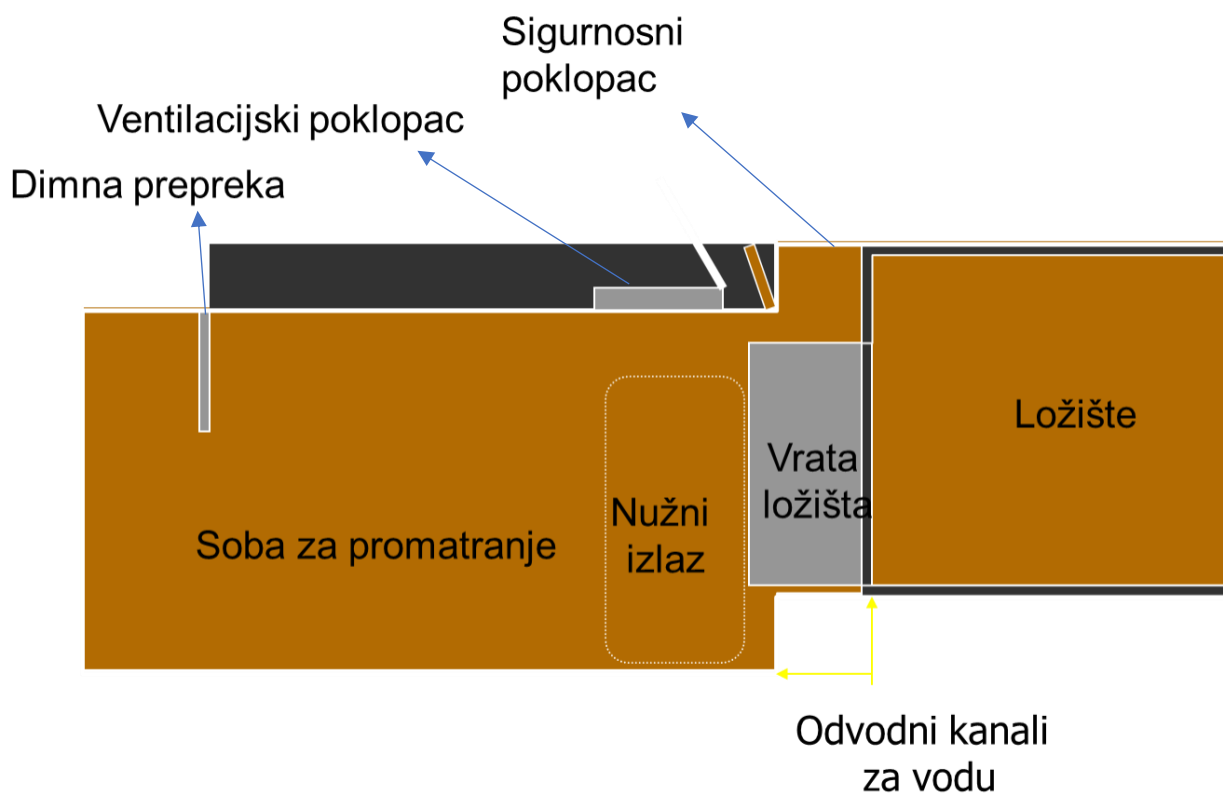
Pojedini proizvođači danas odabiru nešto manje ekonomična rješenja, no rješenja koja su praktičnija. Tako su dostupni mobilni simulatori na plamene udare koji su proizvedeni od vatrostalnog čelika čije je talište dodatno povišeno zbog toga što je napravljena legura čelika i volframa. Radi se o uređajima proizvedenima specifično za tu upotrebu, za razliku od kontejnera koji su improvizirano, no i dalje adekvatno rješenje. [16]

Današnji simulatori primjeri su švedskog korištenja kontejnera. Za izgradnju simulatora koriste se dva kontejnera. Jedan, obično veći kontejner, nalazi se nešto niže od manjeg kontejnera. Veći kontejner je kontejner za promatranje, a manji je namijenjen za loženje. U velikom kontejneru izvodi se uvježbavanje i promatranje. Kontejneri su međusobno spojeni svojim prednjim stranama. Ložište u malom kontejneru postavljeno je pola metra iznad kontejnera za promatranje. Kontejner mora imati vrata koja se mogu otvarati i zatvarati bez opasnosti, ali i vrata za slučaj nužde. [16]



Slika 4.1. shema simulatora na kruta goriva [7]

Slika 4.1. prikazuje shemu simulatora na kruta goriva. Na slici lijevo vidljiv je izdignuti požarni prostor koji se nalazi u manjem kontejneru. Na slici desno prikazan je prostor za promatranje i uvježbavanje.



Slika 4.2. Shema simulatora plamenih udara na kruta goriva s prikazom obveznih elemenata [7]

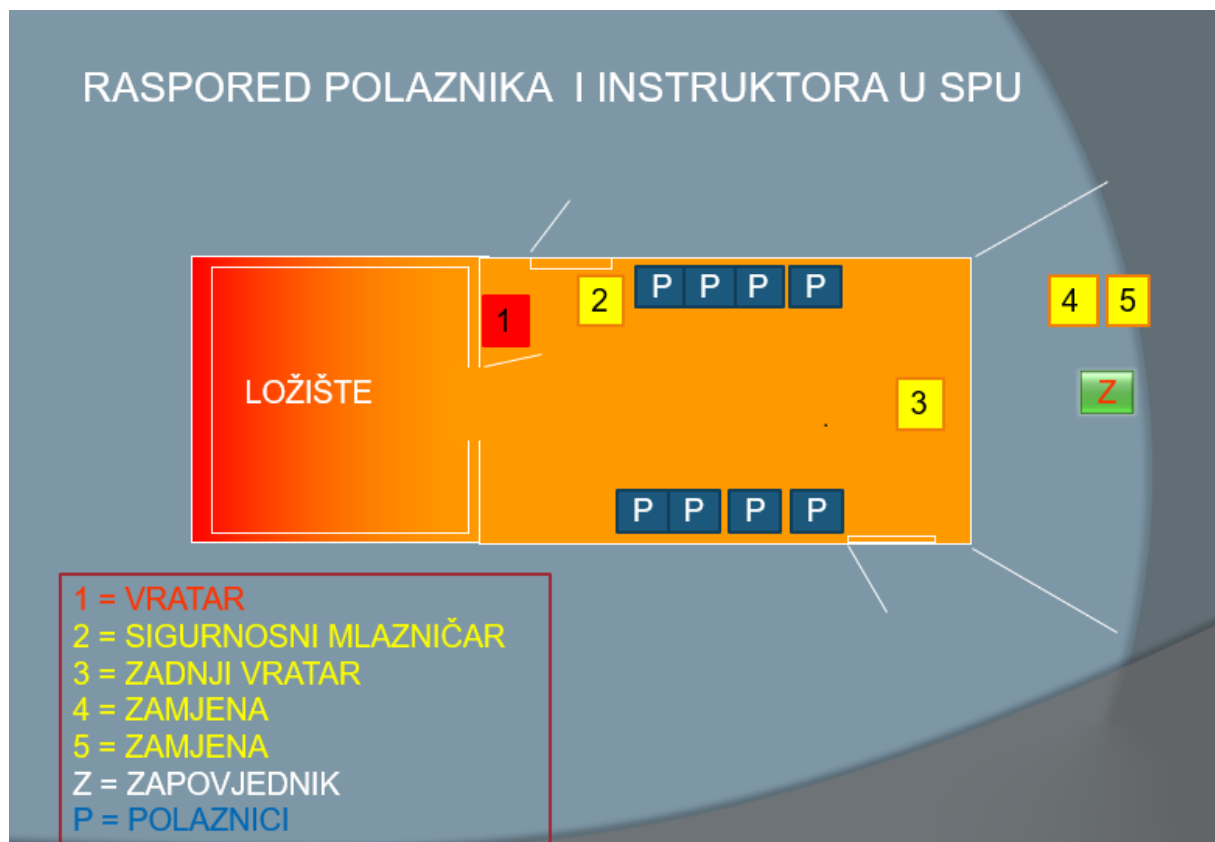
Slika 4.2. prikazuje shemu simulatora plamenih udara na kruta goriva sa svim elementima koje simulator mora sadržavati. Nužno je da simulator ima sobu za promatranje, vrata za nužni izlaz, vrata ložišta, ložište, dimnu prepreku, ventilacijski poklopac te sigurnosni poklopac.

Ložište i kontejner za promatranje povezani su prednjim stranama, a uvijek ih dijele jedna vrata. Na kontejneru za promatranje postavljena su dvoja dodatna vrata. Ta vrata služe za ulazak i izlazak iz prostora simulatora. Njihovo otvaranje mora biti bezopasno. Druga vrata za izlaz u slučaju nužde ugrađena su u prednjem dijelu kontejnera za promatranje između poklopca za ventilaciju i stražnjih vrata, i otvaraju se prema van. U prostoru za promatranje nalazi se i ventilacijski poklopac za dim. Ventilacijskim poklopcem za dim upravlja se ručno. [16]



Slika 4.3. Mobilni simulator plamenih udara na kruta goriva [7]

Slika 4.3. prikaz je nešto modernijeg, mobilnog simulatora udara na kruta goriva. Simulator ima ukupno četiri ulaza te ga je moguće prevoziti. Pripada javnoj vatrogasnoj postrojbi u Makarskoj.



Slika 4.4. shema rasporeda osoblja te raspored polaznika u simulatoru plamenih udara na kruta goriva [7]

## 4.2. Izvođenje vježbe u simulatoru na kruta goriva

Na početku vježbe ložič stvara vatru krutim gorivom. Kao kruto gorivo odabire se suha drvena građa, obično hrastova, koja nema na sebi nikakav premaz. Dovoljno je desetak kvadratnih metara drvene građe. Osim što drvo mora biti bez premaza, strogo je zabranjeno uvoditi bilo kakve ubrzavače gorenja, budući da isti mogu umanjiti sigurnost izvođenja vježbe. [17]

Nakon što je plamen upaljen, a vatra se rasplamsala, vježbenici ulaze u simulator. Prije ulaska u simulator moraju imati svu potrebnu sigurnosnu opremu. Gledajući od ulaza u simulator prema ložištu, zauzimaju mjesta s lijeva i desna, kao na slici 4.4.

Između vježbenika i vrata ložišta nalaze se vratar i sigurnosni mlazničar. Zaduženje vratara je da reguliraju plamen te ulazak zraka kako bi se stekli uvjeti za razvoj flashovera. Sigurnosni mlazničar uvijek kod sebe ima jedan C mlaz kojim može reagirati u slučaju potrebe. Među osobljem u kontejneru uvijek je i dvoje instruktora koji sjede između vježbenika i ulaza u simulator. Izvan simulatora uvijek mora biti dostupno barem dvoje dodatnih instruktora koji u svakom trenutku moraju moći zamijeniti instruktore koji se nalaze u simulatoru. Njihova zamjena je predviđena. [17]

Paljenje se odvija u nekoliko ciklusa. Tijekom svakog ciklusa, polaznici vježbe obavljaju različite zadatke. Rad s mlaznicama, komuniciranje u prostoru, promatranje razvoja požara kroz faze, promjenu uvjeta u prostoriji koja je zahvaćena požarom – povećanje dima i temperature, uočavanje i prepoznavanje predznaka plamenih udara, promatranje flashovera, blokiranje flashovera, taktiku unutarnje navale. [17]

Kako bi se što više povećao element sigurnosti, na svim se pozicijama vatrogasci ciklički izmjenjuju. Kako su pri promatranju raspoređeni jedan iza drugoga, uvijek predzadnji odlazi najbliže požaru, a onaj koji je bio najbliže požaru odlazi u stražnji prostor simulatora. U svakom trenutku dva instruktora moraju nadgledati sve što se odvija u simulatoru te se brinuti za to da se vježba izvodi na što pravilniji način. [17]

Kao i kod pravog flashovera, tako i u simulatoru toplina odlazi prema stropu gdje se obično nakupljaju smjese gorivih plinova. Moguće je vrlo precizno odrediti temperaturu simulatora. Pri dnu simulatora, do visine kukova vatrogasaca, temperatura je oko 200 stupnjeva Celzijevih. Oko glava vatrogasaca temperatura je približno 600 stupnjeva Celzijevih, da bi na stropu simulatora te u ložištu temperatura dosegala oko 1200 stupnjeva Celzijevih. [17]



Slika 4.5. Raspored osoblja na treningu u simulatoru plamenih udara na kruta goriva [18]

Proces izvođenja obuke u simulatoru plamenih udara na kruta goriva pretežito je vrlo zahtjevan. Na obuci je prisutno najmanje šest instruktora, a nerijetko i više:

Instruktor zapovjednik: stoji na ulazu u simulator te je zadužen da nadgleda odvija li se proces obuke u optimalnim uvjetima s posebnim naglaskom na sigurnost. [19]

Instruktori broj tri, četiri i pet: instruktori jedan, tri i pet zaduženi su za to da vode proces vježbe na način da tumače vježbenicima što se odvija u kojoj fazi te da ih podsjećaju na teorijsku podlogu procesa koju su polaznici vježbe morali dobro svladati. [19]

Instruktori broj jedan i dva: instruktori jedan i dva su vratar i mlazničar. Instruktori neprestano ciklički mijenjaju mjesta kako nitko od njih ne bi bio u opasnosti te kako bi se ravnomjerno rasporedio teret posla. Na slici 4.4. prikazana je shema početnog položaja, a mjesta se rotiraju.

Polaznici: kako je vježba zahtjevan za izvođenje, obično je izvodi veći broj polaznika – 16 do 20. Trening je podijeljen na dva dana – teoretski i praktični dio. [19]

Teoretski dio obuhvaća osnovne informacije o razvoju plamena i požara te o razvoju plamenih udara. Potrebno je da polaznici vježbe što bolje svladaju teoretski dio kako bi praktični dio imao više smisla za njih. U teorijskom dijelu usvaja se i vještina čitanja plamena jer je vještina čitanja svojstava plamena, temperature, boje i gustoće dima,

veličine prostora... ključno za ispravan postupak u nekoj situaciji. Ovakav način obuke polaznicima predstavlja najbolji način prikaza stvarnosti. [19]

U praktičnim dijelima uče se mjere sigurnosti u simulatoru plamenih udara, rad s mlaznicama i rad na flashover kutiji. Tijekom drugog dana edukacije, u praktičnom dijelu usvaja se rad s mlaznicama te četiri različita ulaska u simulator plamenih udara, a svaki ulazak ima različiti zadatak.

### **4.3. Uvježbavanje u simulatoru na kruta goriva**

Četiri su osnovne faze uvježbavanja u simulatoru plamenih udara:

1. Razvoj požara u zatvorenom prostoru
2. Simulacija i promatranje flashovera/rollovera
3. Demonstracija blokiranja i daljnjeg razvoja flashovera
4. Uvježbavanje unutarnje navale i pravilnog ulaska u objekt

Razvoj požara u zatvorenom prostoru: U ovoj fazi simulator se koristi za stvaranje kontroliranog požara u zatvorenom prostoru, kao što je soba ili zgrada. To omogućuje vatrogascima i drugim osobama koje prve odgovaraju na požar da promatraju kako se požar razvija tijekom vremena i da vježbaju svoje vještine u kontroli i gašenju požara. Podjednako je važno i razviti strategije pristupa požaru. [20]

Simulacija i promatranje rollovera, flashovera ili backdrafta: Ova faza namijenjena je za simulaciju složenijih scenarija požara, kao što su rollover, flashover ili backdraft, i omogućava vatrogascima i drugim osobama koje prve dolaze na mjesto požara da promatraju i nauče kako prepoznati znakove ovih opasnih ponašanja požara. Razumijevanjem ovih ponašanja u slučaju požara, osobe koje reagiraju mogu se bolje pripremiti za sigurno i učinkovito rješavanje ovih situacija. [20]

Demonstracija zaustavljanja i daljnjeg razvoja flashovera: U ovoj fazi, vatrogasci i drugi djelatnici prve pomoći uče kako prepoznati rane znakove flashovera i kako zaustaviti ili odgoditi njegovo napredovanje. Ovo je važna vještina, jer flashover može biti izuzetno opasan i može brzo dovesti do katastrofalnog požara. [20]

Obuka o odgovarajućem ulazu u objekt: Konačno, ova faza uključuje obuku vatrogasaca i drugih osoba koje prve odgovaraju, kako na siguran način ući u zgradu ili drugu strukturu koja gori. To se odnosi na učenje kako prepoznati potencijalne

opasnosti i kako se kretati kroz strukturu koja može biti ispunjena dimom, toplinom i drugim opasnim uvjetima. [20]

Općenito, obuka sa simulatorom plamenih udara može biti učinkovit način da vatrogasci i drugi hitno reagiraju razviju svoje vještine i pripreme se za širok raspon scenarija požara. Omogućavanjem sigurnog i kontroliranog okruženja za obuku, simulatori plamenih udara mogu pomoći u poboljšanju sigurnosti i učinkovitosti vatrogasaca i drugih osoba koje prve reagiraju, u konačnici pomažući u spašavanju života i minimiziranju štete u slučaju stvarnog požara.



## 5. SIGURNOST U SIMULATORUA

Prvo s čime se suočavaju oni koji su na treningu simulatora s plamenim udarima jest temperatura. Temperaturne vrijednosti trebale bi biti slijedeće:

- U području poda: 80 stupnjeva Celzijevih
- U području kukova 150 stupnjeva Celzijevih
- U području trupa oko 300 stupnjeva Celzijevih
- U području glave oko 500 stupnjeva Celzijevih
- Na stropu je oko 650 stupnjeva Celzijevih – na toj se temperaturi javlja plameni udar
- Vrata ložišta su oko 250 stupnjeva Celzijevih
- Ložište je oko 1200 stupnjeva Celzijevih [21]

U svrhu zaštite od visoke temperature vatrogasci nose specifičnu opremu.

Vatrogasna oprema za visoke temperature obično uključuje specijaliziranu zaštitnu odjeću, alate i opremu koji su dizajnirani da pomognu vatrogascima da djeluju sigurno i učinkovito u ekstremnim vrućinama i drugim izazovnim okruženjima. U simulatoru je nužno da vatrogasci nose svu zaštitnu opremu. [22]

Vatrogasna zaštitna odjeća: Vatrogasci obično nose specijaliziranu zaštitnu odjeću koja je dizajnirana da ih zaštiti od vrućine i drugih opasnosti. To može uključivati kaput i hlače otporne na vatru, rukavice, čizme i kacigu sa štitnikom za lice. [22]

Samostalni aparati za disanje: Vatrogasci nose SCBA kako bi im se osigurao dotok čistog zraka u okruženjima gdje bi zrak mogao biti kontaminiran ili su razine kisika niske. Ovo je posebno važno u situacijama s visokim temperaturama gdje dim i drugi kontaminanti mogu otežati disanje. Taj dio opreme vatrogasci također nose u simulatoru. [22]

Cijevi i mlaznice: Vatrogasci koriste crijeva i mlaznice za usmjeravanje vode ili drugih sredstava za gašenje požara na vatru. U situacijama s visokim temperaturama mogu se koristiti specijalizirana crijeva i mlaznice koje su dizajnirane da izdrže ekstremnu toplinu i pritisak. [22]

Od zaštitne opreme koja se ne koristi u simulatoru plamenih udara na kruta goriva nerijetko se koriste termalne kamere kojima se pomoću infracrvenog svjetla može vidjeti ono što se nalazi iza guste dimne zavjese. Također, koriste se pokrivači koji su otporni na visoku temperaturu kao i termalne barijere kojima se vatrogasci koji ulaze u zapaljeni prostor mogu zaštititi. [22]

Općenito, za korištenje simulatora za vatrene udare na kruta goriva koristi se gotovo sva oprema koja bi se koristila i za situaciju kojoj bi postojala stvarna opasnost čime se značajno doprinosi sigurnosti izvođenja pokusa. [22]

Oprema koja se koristi za simulator mora biti prikladna za temperature koje su navedene i karakteristične za pojedini dio simulatora. Trajnost i otpornost na toplinu vatrogasne opreme može varirati ovisno o specifičnim materijalima i konstrukciji opreme. Vatrogasna oprema dizajnirana je tako da može izdržati iznimno visoku temperaturu, ali u kratkim vremenskim intervalima koji su dovoljni da se pojedinac udalji s mjesta požara. [22]

Na primjer, oprema za skretanje ili bunker oprema, što je zaštitna odjeća koju nose vatrogasci, obično ima ocjenu toplinske zaštitne učinkovitosti (TPP) koja pokazuje koliko vremena oprema može izdržati izloženost toplini prije nego što toplina dopre do kože. TPP ocjena obično se izražava u sekundama i može se kretati od 20 sekundi do preko 40 sekundi, ovisno o specifičnoj opremi i materijalima koji se koriste. [22]

Samostalni uređaji za disanje (SCBA) također imaju ograničeno trajanje upotrebe na visokim temperaturama, a vrijeme varira ovisno o čimbenicima kao što su temperatura, vlažnost i razina napora vatrogasca. Tipično, SCBA ima trajanje od 30 minuta ili manje, neki modeli dizajnirani su za kraće trajanje u okruženjima s višim temperaturama. [22]

Važno je napomenuti da je vatrogasna oprema dizajnirana da pruži zaštitu u najekstremnijim uvjetima, ali nije nepobjediva. U okruženjima s visokom temperaturom, vatrogasci moraju biti oprezni i slijediti odgovarajuće sigurnosne postupke kako bi izbjegli prekomjerno izlaganje toplini i plamenu. To vrijedi i za same simulatore u kojima je također posebno regulirano postupanja kako bi se minimalizirala vjerojatnost opekline. [22]

Prije ulaska u simulator potrebno je provjeriti jesu li samostalni aparati za disanje ispravno namješteni te postoje li na njima bilo kakve manjkavosti ili nedostaci. Sve nepravilnosti moraju biti uočene i cijela oprema i odjeća moraju biti pregledane. Sve

nepravilnosti moraju biti prijavljene instruktorima. Uređaj se obvezno mora koristiti uz nazočnost instruktora te se uvijek moraju slijediti upute koje je instruktor dao. [23]

Neke dodatne napomene vezane uz sigurnost tiču se opreme i ponašanja. Sav metalni nakit mora biti uklonjen jer kada vatrogasci rade u okruženjima s visokom temperaturom, u opasnosti su od opekline od vrućih metalnih predmeta, poput nakita. Iz tog razloga, važno je ukloniti sav metalni nakit prije ulaska u prostor za vježbanje. [23]

Mora postojati formirana grupa za spašavanje. Grupa za spašavanje, ili neki oblik tima za brze intervencije, grupa je vatrogasaca obučениh i opremljenih za spašavanje drugih vatrogasaca koji ostanu zarobljeni ili ozlijeđeni tijekom obuke ili operacije gašenja požara. U okruženjima za obuku s visokom temperaturom postoji povećani rizik od zarobljavanja ili ozljeđivanja vatrogasaca, tako da je grupa za spašavanje u pripravnosti važna za osiguranje sigurnosti svog uključenog osoblja. Kod izvođenja vježbi sa simulatorom plamenih udara na kruta goriva obično su to instruktori. [23]

Ekipe koja mora znati pružiti prvu pomoć na raspolaganju mora imati i dodatne uređaje poput IR naočala te dostupan prijevoz radi odvoženja u bolnicu. [23]

Također, u stanju pripravnosti moraju biti i vodene mlaznice kojima upravlja pojedini član tima koji provodi vježbu. Voda je ključno sredstvo u borbi protiv požara i hlađenju okruženja visoke temperature. Tijekom treninga na visokim temperaturama, vodeni mlazevi mogu se koristiti za pomoć u kontroli i gašenju požara, kao i za hlađenje okolnog područja kako bi se smanjio rizik od ozljeda. Na vježbama uvijek moraju biti dostupna dva različita izvora vode. [23]

Što se tiče samog osoblja, potrebno je da i vatrogasci koji su instruktori i vatrogasci koji su na obuci posjeduju dovoljno teoretskog znanja. Također, potrebno je da posjeduju odgovarajuću fizičku spremu. [24]

Vatrogasci moraju biti u izvrsnoj fizičkoj spremi koja je i propisana zakonom o vatrogastvu u člancima 21 i 22. U prvom je redu potrebna iznimna kardiovaskularna izdržljivost. [24]

U slučaju opasnosti vatrogasci tri puta zaredom udaraju po kontejneru te nakon što dobiju odobrenje za to unatrag napuštaju kontejner što je brže moguće. Neposredno prije ulaska u kontejner potrebno je da svaki vatrogasac popije najmanje pola litre vode jer je razina hidratacije ključan element pri boravku na vrućini. Neposredno nakon

završetka vježbe vatrogasci trebaju skinuti svoju opremu te je lupkati na otvorenom, budući da je temperatura na vanjskim dijelovima opreme postigla temperature i preko 150 stupnjeva Celzijevih. [23]

Uz provođenje svih regulativa koje su propisane, vjerojatnost za ozljedama vrlo je mala, no ona postoji jer je vatra nepredvidiva.

## 6. RASPRAVA: SIMULATOR NA KRUTO GORIVO I PLINSKI SIMULATOR

Simulatori požara na kruto gorivo i simulatori požara na plin koriste se za obuku vatrogasaca i drugih hitnih službi za sigurno i učinkovito upravljanje požarima. Međutim, postoje neke razlike između ove dvije vrste simulatora:

- Izvor goriva: Simulatori požara na kruto gorivo najčešće koriste nebojano drvo, papir ili druga kruta goriva za stvaranje kontrolirane vatre, dok simulatori požara na plin koriste propan ili druge plinove.
- Izlazna toplina: Simulatori požara na plin obično proizvode veću izlaznu toplinu od simulatora požara na kruto gorivo, koji mogu točnije simulirati intenzitet stvarnog požara.
- Fleksibilnost: Simulatori požara na kruto gorivo mogu se postaviti na različitim lokacijama, uključujući zgrade, transportne kontejnere ili čak na prikolice za mobilnu obuku. Simulatori plinskog požara često su ugrađeni u fiksnu strukturu i najčešće ih nije lako prenositi
- Sigurnost: Obje vrste simulatora dizajnirane su za siguran rad, ali simulatori plinskog požara zahtijevaju dodatne sigurnosne mjere zbog veće izlazne topline i mogućnosti curenja plina.

Postoji nekoliko prednosti korištenja simulatora plamenih udara na kruto gorivo za obuku vatrogasaca:

- Isplativost: Simulatori krutog goriva općenito su jeftiniji za rad od simulatora požara na plin, jer su kruta goriva jeftinija od propana ili drugih plinova.
- Realistična obuka: Simulatori plamenih udara na kruta goriva mogu stvoriti realne scenarije požara, omogućujući vatrogascima da steknu iskustvo u upravljanju požarima u kontroliranom okruženju.
- Prijenosni: Simulatori krutog goriva mogu se postaviti na različitim lokacijama, uključujući zgrade, transportne kontejnere ili čak na prikolice za mobilnu obuku. To vatrogascima omogućuje obuku u različitim okruženjima i na različitim lokacijama.

- Ekološki prihvatljivi: Simulatori na kruto gorivo proizvode manje emisija i imaju manji ugljični otisak od simulatora plamenih udara na plin, što može biti važno za agencije kojima je održivost prioritet.
- Jednostavan za postavljanje: Simulatore krutog goriva općenito je lakše postaviti i koristiti od simulatora plinskog požara, koji mogu zahtijevati više specijalizirane opreme i stručnosti.

Općenito, simulatori požara na kruto gorivo nude ekonomičnu, realističnu i prenosivu opciju za obuku vatrogasaca koja se može prilagoditi specifičnim potrebama agencije ili programa obuke.

Nekoliko je prednosti i korištenja plinskog simulatora za obuku vatrogasaca:

- Sigurnost: Plinski simulatori mogu biti dizajnirani da ponude visoku razinu sigurnosti za polaznike. Simulirani plamen se može brzo i jednostavno ugaziti, a sustav se može odmah isključiti ako je potrebno.
- Raznovrsnost: simulatori na plin mogu stvoriti širok raspon scenarija požara, od malih požara do velikih, intenzivnih požara. To vatrogascima omogućuje stjecanje iskustva u upravljanju različitim vrstama požara u kontroliranom okruženju.
- Realistična obuka: Simulatori na plin mogu proizvesti plamen koji oponaša ponašanje pravih požara, pružajući vrlo realistično iskustvo obuke za vatrogasce.
- Kontrola: instruktori mogu lako kontrolirati i manipulirati simulatorima plinskih požara kako bi stvorili specifične scenarije obuke i po potrebi prilagodili intenzitet plamena.
- Učinkovitost: Simulatori požara na plin mogu biti vrlo učinkoviti, koristeći propan ili prirodni plin za stvaranje plamena. Koristeći plamen prirodnog plina smanjuje se buka.

Općenito, simulatori plinskog požara nude vrlo realističnu i svestranu opciju za obuku vatrogasaca koja se može prilagoditi specifičnim potrebama treninga ili programa obuke, a istovremeno nudi visoku razinu sigurnosti i učinkovitosti.

## 7. ZAKLJUČAK

Čovjek tisućljećima koristi vatru, a otkad je koristi, postoji i opasnost od požara. Iako su ljudi stekli kontrolu nad vatrom na način da ju mogu zapaliti ili ugasiti kada žele, još uvijek vatra može iznenaditi ljude i imati neželjene i opasne učinke. Neki od najnepredvidivijih obrazaca ponašanja plamena su plameni unutarnjeg prostora zbog specifičnih uvjeta razvoja i napredovanja.

U zatvorenom prostoru ograničena je dostupnost kisika, a goriva su specifična jer gore i materijali i plinovi koje ispuštaju. U tom kontekstu u vrlo kratkom roku mogu se razviti visoke temperature, a ponekad se mogu razviti i vatrene eksplozije. Kako bi se vatrogasci što bolje pripremili za požare zatvorenog prostora kreirani su različiti simulatori kojima je namjena da vatrogascima i drugim djelatnicima koji trebaju prvi reagirati na požare pruže optimalnu edukaciju u svrhu povećanja sigurnosti.

Postoje virtualni simulatori, simulatori na plin te simulatori na kruta goriva. Virtualni simulatori ne simuliraju pravi požar, nego samo virtualni. Nasuprot njima, simulatori plamenih udara na plin i na kruta goriva simuliraju pravi plamen. U središtu rada bili su simulatori na kruta goriva. Za obuku u simulatorima na kruta goriva postoji razrađena procedura prema kojoj treba postupati. Vježbe traju dva dana i vrlo su intenzivne zbog čega je potrebno da sudionici imaju izvrsnu fizičku spremu. Obično sudjeluje desetak polaznika vježbi te pet instruktora među kojima je i zapovjednik.

Simulatori na kruta goriva mogu prikazati plamene udare vrlo realistično te pomoću njih vatrogasci mogu naučiti čitati znakove požara: gustoću dima, temperaturu, boju dima... Simulatori su obično izgrađeni od brodskih kontejnera, a kao gorivo koriste čistu drvenu građu koja ne smije imati premaza. Prednost takvih simulatora je što su jeftiniji, mogu biti prijenosno te je optimizirana komponenta sigurnosti.

S druge strane, plinski simulatori mogu izazivati različite tipove požara te su prilagodljiviji. I plinski simulator potpuno je siguran ukoliko se njime ispravno rukuje jer se plamen regulira na trenutani način (jednostavno se poveća ili smanji dotok plina).

Pristup radu i oprema koju koriste vatrogasci danas je dovedena do vrlo visoke razine. Ipak, nesreće se događaju te je potrebno povećavati i svijest i edukaciju kako bi se što više smanjio broj nesreća, a simulatori plamenih udara iznimno su značajni za to pitanje.

## LITERATURA

- [1] Purgar, S.: Vatrogasna taktika, Vatrogasna škola, Zagreb, (2007.)
- [2] US Fire Administration, Fire statistics.: <https://www.usfa.fema.gov/statistics/>.  
Pristupljeno: 15.2.2023.
- [3] Karlović, V.: Procesi gorenja i gašenja, HVZ, Zagreb, (2010.)
- [4] Jovanović, M., Tomanović, D.: Dinamika požara, Univerzitet u Nišu, Niš, (2002.)
- [5] Regent, A.: Analiza mjera za prevenciju katastrofalnih požara u tunelima, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, (2012.)
- [6] Pelin, D.: Opasnosti i mjere zaštite pri gašenju požara zatvorenih prostora, Veleučilište u Karlovcu, Završni rad, Karlovac, (2016.)
- [7] Sabljak, O.: Simulatori plamenih udara, Veleučilište u Karlovcu, Završni rad, Karlovac, (2016.)
- [8] Graham, TL., Makhviladze, GM., Roberts, JP.: „On the theory of flashover development“, Fire Safety Journal, 25 (1999.), 3, 229-259.
- [9] Peacock, R., Reneke, P., Bukowski, R., Babrakus, V.: „Defining flashover for fire hazard calculations“, Fire Safety Journal, 32 (1999.), 4, 331-345.
- [10] Fleischman, CM.: Backdraft Phenomena, University of California, Berkeley, (1993.)
- [11] Gojković, D.: Initial Backdraft Experiments, Lund University, Lund, (2000.)
- [12] Wichman, I., Ramdan, B.: „Theory of attached and lifted diffusion flames“, Physics of Fluids, 10 (1998.) 3145-3154.
- [13] Chen, Y., Feng, G., Nie, Y., Zhang., Yang., L.: „A Review of Combustion and Flame Spread over Thermoplastic Materials: Research Advances and Prospects“, 6 (2023), 3, 2-17.
- [14] Fireblast.: Fire Simulator <https://www.fireblast.com/fire-simulator/> Pristupljeno: 5.3.2023.
- [15] Sanchez, J.: „Merck facility takes delivery of three new Rosenbauer Appliances“
- [16] Javna vatrogasna postrojba Ivanić-Grada, Seminar o obuci vatrogasaca u simulatoru plamenih udara na kruta goriva.



- [17] Šestak, T.: Utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na obuku vatrogasaca, Sveučilište sjever, diplomski rad, (2020.)
- [18] Javna vatrogasna postrojba Ivanić-Grada, Seminar opasnosti od plamenih udara: <https://www.vpig.hr/usluge/obuka-u-simulatoru-plamenih-udara/>      Pristupljeno: 1.4.2023.
- [19] Vatrogasci Zagreb, Simulatori plamenih udara: <https://vatrogasci.zagreb.hr/UserDocsImages/dokumenti/struka/Simulatori-plamenih-udara.pdf> Pristupljeno: 1.4.2023.
- [20] Vatrogasni portal Hrvatske, Vruća obuka u Hrvatskoj i simulatori plamenih udara: <https://www.vatrogasni-portal.com/news.php?readmore=1191> Pristupljeno: 1.4.2023.
- [21] Promat, Koliko je vruća vatra? Kratki vodič za standardne krivulje vremena i temperature: <https://www.promat.com/hr-hr/graditeljstvo/projekti/za-strucnjake/69819/krivulje-pozara-koliko-je-vruca-vatra/> Pristupljeno 8.4.2023.
- [22] Hrvatska vatrogasna zajednica, Osposobljavanje vatrogasaca Šibensko-kninske županije za gašenje i spašavanje u pokretnom simulatoru plamenih udara: <https://hvz.gov.hr/vijesti/osposobljavanje-vatrogasaca-sibensko-kninske-zupanije-za-gasenje-i-spasavanje-u-pokretnom-simulatoru-plamenih-udara/3627> Pristupljeno: 8.4.2023.
- [23] Javna vatrogasna postrojba Grada Zagreba, Zaštitna oprema za vatrogasce: <https://vatrogasci.zagreb.hr/default.aspx?id=97> Pristupljeno: 8.4.2023.
- [24] Williams-Bell, FM., Villar, R., Sharratt, MT., Hughson, RL.: „Physiological demands of the firefighter Candidate Physical Ability Test“, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (2009.), 3, 653-662.

## POPIS SLIKA

Slika 3.1. Razvoj flashovera .....	9
Slika 3.2. razvoj backdrafta .....	12
Slika 3.3. Flameover .....	15
Slika 4.1. shema simulatora na kruta goriva .....	18
Slika 4.2. Shema simulatora plamenih udara na kruta goriva s prikazom obveznih elemenata.....	19
Slika 4.3. Mobilni simulator plamenih udara na kruta goriva .....	20
Slika 4.4. shema rasporeda osoblja te raspored polaznika u simulatoru plamenih udara na kruta goriva .....	20
Slika 4.5. Raspored osoblja na treningu u simulatoru plamenih udara na kruta goriva .....	22