

SIMULATOR PLAMENIH UDARA I PLAMENI UDAR-FLASHOVER

Brlić, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:128:389712>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



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 prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

GORAN BRLIĆ

**SIMULATOR PLAMENIH UDARA I
PLAMENI UDAR - FLASHOVER**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, svibanj 2024.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department
Professional undergraduate study of Safety and Protection

GORAN BRILIĆ

**Simulator of flame strikes and flame blow
flashover**

FINAL PAPER

Karlovac, may 2024

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

GORAN BRILIĆ


**SIMULATOR PLAMENIH UDARA I
PLAMENI UDAR - FLASHOVER**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Robert Hranilović, dipl.ing.

Karlovac, svibanj 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK

 VELEUČILIŠTE U KARLOVCU Karlovac University of Applied Sciences	Ak. godina: 2023./2024.
ZAVRŠNI ZADATAK	Datum zaprimanja:

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac,

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Goran Brlić

Matični broj: 0248077796

Naslov: Simulator plamenih udara i plameni udar flashover

Opis zadatka:

U ovom završnom radu opisano je što je plameni udar i koji su udari prisutni. Uz to je objašnjeno što je to flashover, kako se gasi i ponaša prilikom udara. U radu je detaljno objašnjen svaki od simulatora koji su prisutni i sve o njima.

Zadatak zadan:

lipanj 2023.

Rok predaje rada:
obrane:

Svibanj 2024.

Predviđeni datum

13.05.2024.

Mentor:

Robert Hranilović, dipl.ing.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Lidija Jakšić, mag. ing. chem.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru Robertu Hraniloviću na stručnom vodstvu prilikom odabira teme i Lidiji Jakšić. Zahvaljujem na strpljenju i razumijevanju te na odvojenom vremenu kako bi ovaj rad bio što kvalitetniji.

Zahvaljujem također svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu koji su moje iskustvo i znanje podigli na veću razinu.

Hvala mojoj obitelji, prijateljima i kolegama koji su bili uz mene i bodrili me kada je bilo teško, a ponajviše hvala dr. Ivici Balagoviću na velikom trudu i pomoći oko izrade ovog završnog rada.

SAŽETAK

Poznato je da su poslovi koje obavljaju vatrogasci vrlo rizični. U svijetu se spoznalo da su u velikom postotku uzroci stradanja i pogibije vatrogasaca neke od vrsta plamenih udara. Kako bi se smanjilo stradanje vatrogasaca došlo se do ideje za simuliranje požara i plamenih udara i njihovo promatranje i suzbijanje u sigurnim uvjetima, kako bi vatrogasci naučeno mogli primijeniti na intervencijama u stvarnim požarima.

U Švedskoj su se za simulacije počeli primjenjivati čelični brodski kontejneri. Uvidjelo se da se u njima postižu značajni rezultati i taj oblik treninga sve se više počeo unaprjeđivati i provoditi. Istaknute su mjere zaštite koje se moraju provoditi i odabrani su najbolji oblici simulatora. Razvile su se i specijalizirane tvrtke koje provode takva uvježbavanja. Postoje i podaci o stradanjima vatrogasaca u ovim simulatorima, ali se daljnjim istraživanjima zaključilo da se u tim simulatorima nisu provodile mjere zaštite i da se nisu osigurali sigurni uvjeti. Ovakvi treninzi su se uz pomoć švedskih vatrogasaca počeli provoditi i u Sloveniji. Vatrogasci koji su prošli ovakav trening tvrde da se sada osjećaju sigurnije na intervencijama i da imaju više samopouzdanja.

U slučajevima ekstremnih oblika ponašanja požara, u što spadaju i plameni udari, vatrogasac bez iskustva s plamenim udarima je u vrlo teškoj situaciji. Postoji velika mogućnost pogibije, ozljeđivanja ili neuspješnog odrađivanja same intervencije. Svrha simulatora plamenih udara nije „proizvodnja“ flashovera i mučenje vatrogasaca u uvjetima visokih temperatura, već je svrha upoznati *neprijatelja* i shvatiti ponašanje požara u prostoru. Vatrogasac u simulatoru može na siguran način, u uvjetima najslabijima onima na intervenciji, sa svom zaštitnom opremom koju koristi, s radnim kolegama, i s mlaznicom koju upotrebljava, upoznati tog požarnog neprijatelja.

Ključne riječi: *plameni udar, vatrogasac, simulator, požar.*

SUMMARY

It is known that the jobs performed by firefighters are very risky. It has become known throughout the world that a large percentage of firemen who died were caused by some type of flame shock. In order to reduce the suffering of firefighters, ideas were developed for simulating fires and flaming shocks and observing and suppressing them in safe conditions so that firefighters could apply what they learned to interventions in real fires.

In Sweden, steel shipping containers began to be used for simulations. It was seen that significant results were achieved in them, and this form of training began to be improved and implemented more and more. The protective measures that must be implemented are highlighted and the best forms of simulators are selected. Specialized companies that conduct such trainings have also developed. There are also data on the casualties of firefighters in these simulators, but further research revealed that no protective measures were implemented in these simulators and safe conditions were not ensured. These types of trainings, with the help of firefighters from Sweden, started to be conducted in neighboring Slovenia as well. Firefighters who have undergone this type of training claim that they now feel safer during interventions and that they are more confident in themselves.

In cases of extreme forms of fire behavior, which include flame bursts, a firefighter without experience with flame bursts is in a very difficult situation. There is a high possibility of death, injury or unsuccessful performance of the intervention itself. The purpose of the flame shock simulator is not to "produce" flashovers and torture firefighters in conditions of high temperatures, but to get to know the enemy and understand the behavior of fires in space. The firefighter in the simulator can meet the fire enemy in a safe way, in the conditions closest to possible intervention, with the protective equipment he uses, with the colleagues he works with, with the nozzle he uses.

Keywords: *flame attack, fireman, simulator, fire.*

Sadržaj

ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY.....	IV
1. UVOD.....	1
1.1. Predmet i cilja rada.....	1
1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja.....	1
1.3. Svrha istraživanja	1
1.4. Hipoteza istraživanja	2
1.5. Metodologija rada	2
2. OSNOVE GORENJA.....	3
2.1. Gorenje i gašenje – osnove, razvoj i širenje požara	3
2.2. Razvoj i širenje požara	4
2.3. Gašenje požara	5
2.4. Taktika gašenja požara.....	6
3. PLAMENI UDARI.....	9
3.1. Vrste plamenih udara.....	9
3.2. Flashover – plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora	11
3.3. Predznaci flashovera	14
3.4. Taktika sprječavanja flashovera	15
3.5. Odimljavanje	15
3.6. Gašenje	16
3.7. Eksplozije ili zapaljenja požarnih plinova.....	17
3.8. Oprema za zaštitu vatrogasaca od plamenih udara u zatvorenom prostoru	18
4. ANALIZA POSTOJEĆIH SIMULATORA PLAMENIH UDARA U HRVATSKOJ....	19

5.	SIMULATOR PLAMENIH UDARA.....	20
5.1.	Simulatori plamenih udara u Republici Hrvatskoj.....	22
5.2.	Plinski simulator – Fire dragon III.....	25
5.3.	Simulator na kruta goriva.....	28
5.4.	Usporedba simulatora.....	31
5.5.	Prednosti plinskog simulatora.....	31
5.6.	Nedostaci plinskog simulatora.....	31
5.7.	Prednosti simulatora na kruta goriva.....	32
5.8.	Nedostaci simulatora na kruta goriva.....	32
6.	ZDRASTVENO STANJE VATROGASACA TJEKOM PROVOĐENJA OBUKE U SIMULATORU PLAMENIH UDARA.....	33
7.	ZAKLJUČAK.....	36
8.	LITERATURA.....	37
9.	POPIS SLIKA.....	39

1. UVOD

Posao vatrogasca jedan je od najopasnijih zanimanja u kojem je život vatrogasca ugrožen na svakom koraku. U svijetu, u velikom postotku stradalih vatrogasaca uzrok pogibije bio je neka od vrsta plamenih udara. Vodeći se tom statistikom, došlo se do ideja za simuliranje požara i plamenih udara, a kako bi se smanjilo stradavanje vatrogasaca i da bi oni u kontroliranim uvjetima stekli iskustvo i znanje za intervencije u stvarnim požarima.

1.1. Predmet i cilja rada

Cilj ovog diplomskog rada je analizirati postojeće simulatore plamenih udara, njihove opasnosti, te opisati i izraditi idejno rješenje, i usporediti postojeće vrste simulatora s idejnim rješenjem.

Zadaci koje treba ostvariti u tijeku izrade diplomskog rada su:

- opisati oblike i uvjete za nastanak plamenih udara,
- analizirati postojeće simulatore plamenih udara,
- opisati tehničke karakteristike postojećih simulatora.

1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja

U izradi ovog diplomskog rada korišten je empirijsko-induktivni pristup koji se temelji na statističkim metodama, a obuhvaćat će prikupljanje, obradu i prezentaciju dobivenih podataka. Prikupljanje primarnih podataka izvršeno je putem dostupne literature, razgovorom sa stručnjacima u ovom području, prvenstveno s instruktorima u postojećim simulatorima, te anketiranjem.

1.3. Svrha istraživanja

Svrha istraživanja u ovom diplomskom radu je smanjiti ozljeđivanje vatrogasaca, povećati učinkovitost kod uvježbavanja vatrogasaca, kako bi lakše uočili opasne situacije, te smanjili uništavanje vatrogasne zaštitne opreme, a sve korištenjem virtualnog interaktivnog simulatora.

1.4. Hipoteza istraživanja

Kroz ovaj rad istražiti će se postavljena hipoteza - da je uvježbavanjem vatrogasaca u simulatoru moguće značajno smanjiti uništavanje opreme i ozljeđivanje vatrogasaca, a povećati prepoznavanje opasnih situacija.

1.5. Metodologija rada

Diplomski rad sastoji se od četiri poglavlja. U uvodu se definira cilj i svrha rada, postavljena je hipoteza istraživanja, i predstavljena je struktura rada.

U drugom poglavlju obrazložen je proces gorenja i gašenja, razvoj i širenja požara.

U trećem poglavlju opisuju se najopasnije situacije koje su za neuvježbanog vatrogasca izrazito opasne.

U četvrtom poglavlju navodi se analiza postojećih simulatora plamenih udara, ukratko se opisuju njihovi načini rada, a također se analiziraju njihove prednosti i nedostaci.

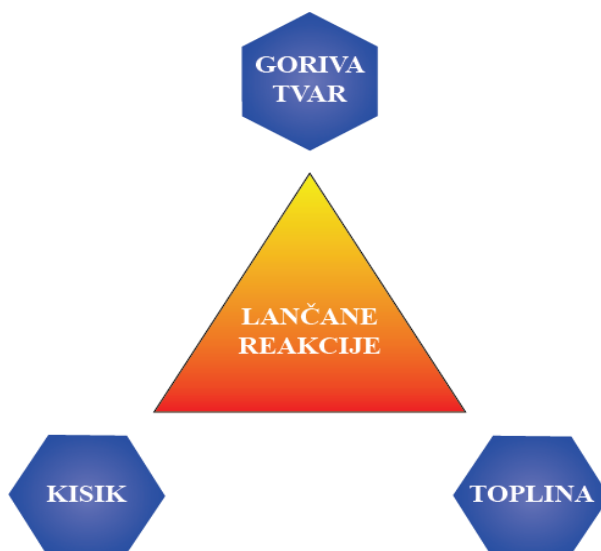
2. OSNOVE GORENJA

2.1. Gorenje i gašenje – osnove, razvoj i širenje požara

Prije razmatranja plamenih udara potrebno je shvatiti teoriju gorenja i svih učinaka koji utječu na samo gorenje.

Gorenje je proces kod kojeg se goriva tvar veže s kisikom i pritom oslobađa velike količine topline, uz istovremenu pojavu svjetlosti, plamena i dima. Kako bi se proces gorenja odvijao, potrebna su četiri osnovna uvjeta (Slika 2.1):

1. Goriva tvar
2. Kisik iz zraka ili neki drugi oksidans koji podržava gorenje
3. Izvor paljenja
4. Lančane reakcije



*Slika 2.1 Uvjeti gorenja
Izvor: izrada autora*

Ukoliko se ukloni jedan od navedenih uvjeta, proces gorenja se prekida.

Razlikujemo dvije vrste gorenja, a to su potpuno i nepotpuno gorenje.

Potpuno gorenje odvija se uz prisustvo dovoljne količine kisika, a kao nusprodukti su plinovi ili kruti ostaci koji više nisu zapaljivi. [1]

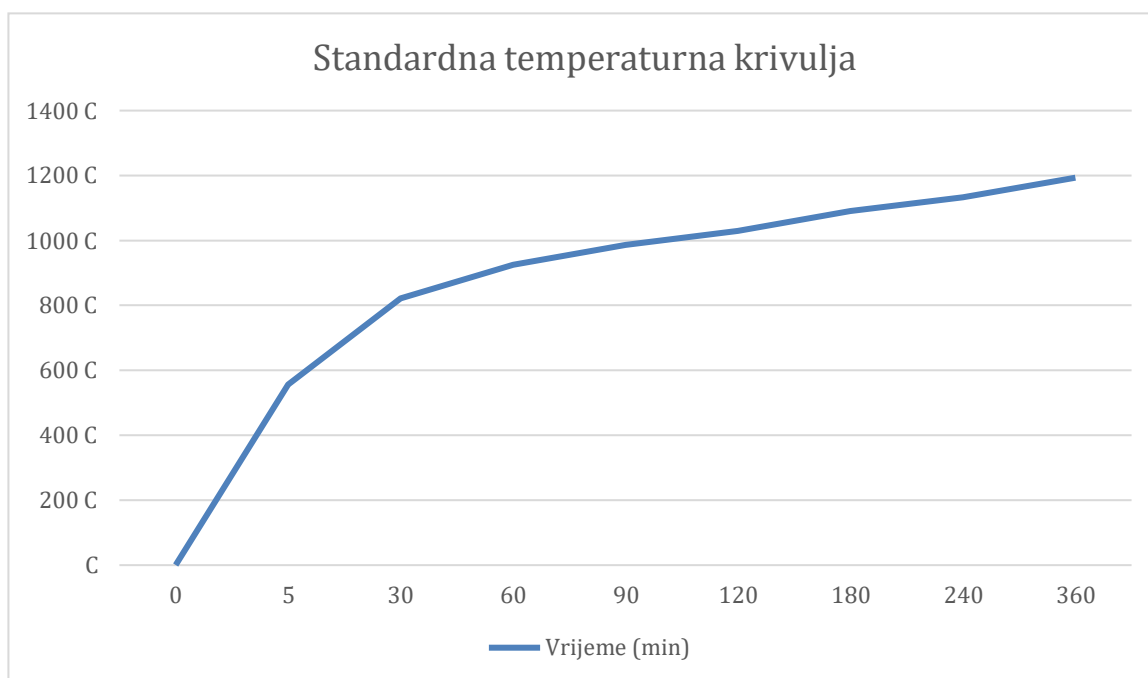
Nepotpuno gorenje odvija se uz nedovoljnu količinu zraka, što se karakterizira velikom količinom dima, a dobiveni produkti mogu se ponovo upaliti. Plinoviti produkti u smjesi sa zrakom postaju eksplozivni. Dim koji se javlja, sastoji se od čađe i ugljičnog monoksida, a može se pojaviti i sumporovodik, cijanovodik i mnogi drugi otrovni plinovi.. Nepotpuno gorenje najčešće je prisutno kod požara zatvorenog prostora.

2.2. Razvoj i širenje požara

Požar zatvorenog prostora širi se i razvija vrlo brzo i postiže visoke temperature.

Najveći utjecaj na razvoj i širenje požara ima količina gorivog materijala u tom prostoru i količina kisika koji ulazi u prostor. Ostali čimbenici koji utječu na razvoj i širenje požara zatvorenog prostora su veličina, broj i razmještaj ventilacijskih otvora, veličina prostora zahvaćena požarom, visina stropa, izolacijske karakteristike pregradnih elemenata, količina, sastav i razmještaj gorivog materijala na kojem je nastao požar te postojanje i razmještaj gorivog materijala na koji se požar može proširiti. [2]

Slika 2.2 prikazuje krivulju razvoja temperature iz koje vidimo kako je nakon samo 5 minuta od nastanka požara, temperatura u prostoriji viša od 500 Celzijevih stupnjeva.



Slika 2.2 Krivulja razvoja temperature

Izvor: Izrada autora temeljem dostupnih podataka iz knjige „Procesi gorenja i gašenja“, V. Karlović

Razvoj požara dijeli se u nekoliko faza i to:

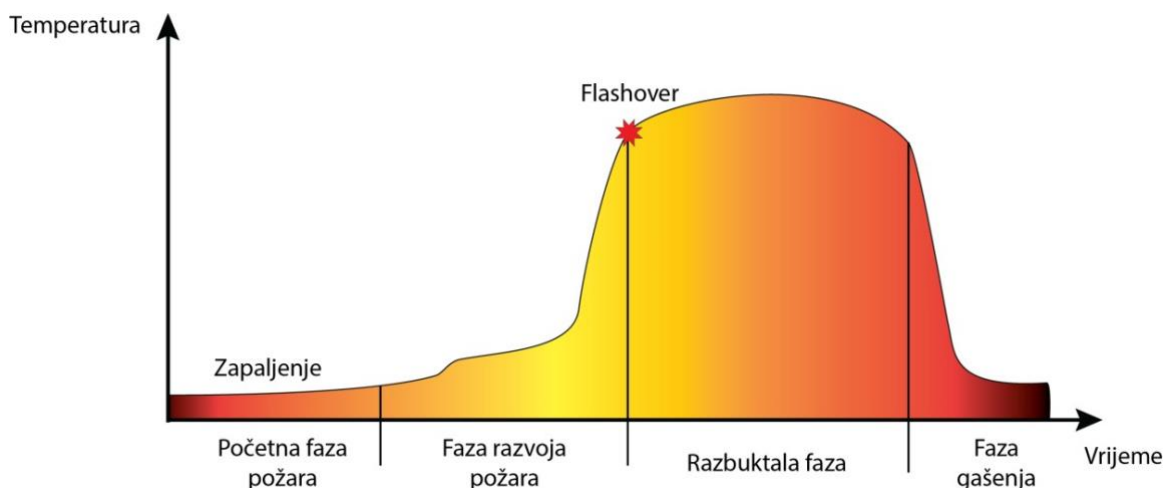
Početna faza koja može trajati nekoliko minuta do čak nekoliko sati uz lagano tinjanje. U toj fazi je relativno niska vrijednost temperature, a obujam požara je mali. [3]

Faza razvoja je druga faza u kojoj se povećava temperatura i zahvaćeno je sve više gorive tvari. Stvara se nadtlak temeljem kojeg obično pucaju staklene površine, a dotokom svježeg zraka povećava se mogućnost bržeg razvoja požara. U pravilu faza razvoja traje od par minuta do

nekoliko desetaka minuta pri čemu temperatura stalno raste dok ne postigne svoj maksimum. [3]

Razbuktna faza karakteristična je po tome što je goriva tvar na kojoj je započeo požar već izgorjela, a preostale gorive tvari su zahvaćene požarom. Temperatura je postigla svoju maksimalnu vrijednost od 650 do 1000°C (vrijedi za stambene prostore), te dolazi do popuštanja manje otpornih građevinskih konstrukcija. [3]

Faza gašenja je posljednja faza u kojoj se smanjuje količina gorive tvari i temperatura počinje opadati. Ukoliko je u zonu gorenja uneseno sredstvo za gašenje, pad temperature je očitiji. [3]



Slika 2.3 Faze razvoja požara

Izvor: Izrada autora temeljem dostupnih podataka iz knjige „Procesi gorenja i gašenja“, V. Karlović

2.3. Gašenje požara

Gašenje požara predstavlja proces u kojemu se pomoću sredstva za gašenje iz požara oduzima jedan ili više uvjeta potrebnih za gorenje.

Glavni učinci gašenja su uklanjanje gorive tvari, ugušivanje požara odnosno gorive tvari od okolnog zraka, ohlađivanjem ispod temperature gorenja te inhibicija (zaustavljanje) lančanih reakcija gorenja. Uklanjanje gorive tvari u praksi se rijetko koristi, jer je za to potrebno previše vremena, a vatrogasac se izlaže velikom riziku. Koristi se isključivo kod požara gorivih plinova ili tekućina na način da se zatvaranjem ventila na cjevovodu prekida daljnji protok istih. Glavni učinak gašenja požara ugušivanjem djeluje na način da sredstvo za gašenje u obliku lebdećeg ili plutajućeg oblaka plina, pare, pjene, magle ili prašine omotava i prodire u gorivu tvar ili je prekriva. Na taj način u potpunosti ili djelomično sprječava (reducira) dolazak kisika gorivoj tvari. Gašenje požara ohlađivanjem koristi se kod gašenja požara krutih goriva te kod sprečavanja širenja požara. Gorenje tvari će prestati kada joj se temperatura snizi ispod temperature gorenja. Inhibicija

lančanih reakcija nastaje kada sredstvo za gašenje ili njegovi produkti termičkog razlaganja unutar plamena djeluju kao negativni katalizatori. Na taj se način smanjuje afinitet aktivnih čestica plinova i para prema kisiku. Na primjer prah, kao sredstvo za gašenje, u požaru stvara aktivne radikale koji se brže vežu od kisikovih radikala na radikalske reakcijske lance gorive tvari kao blokirajući dijelovi. [3]

Sredstva za gašenje su kemijske tvari, koje gase požar jednim od nabrojanih efekata. Mogu biti u sva tri agregatna stanja (plinovita, tekuća ili kruta). Prema vrsti tvari koje su obuhvaćene požarom napravljena je klasifikacija požara odnosno navedena su sredstva za gašenje požara klase:

- Požar klase A – požar krutih tvari (drvo, papir, slama, plastika, tekstil, ugljen) gase se vodom, prahom pjenom, pijeskom;
- Požar klase B – požar zapaljivih tekućina (benzin, lakovi, vosak, smole, katran) gase se pjenom, prahom, CO₂, vodom;
- Požar klase C – požar zapaljivih plinova (metan, acetilen, propan, butan) gase se prahom i halonima;
- Požar klase D - požari zapaljivih metala (aluminij, magnezij, natrij, kalij) gase se specijalnim vrstama praha;
- Požar klase F – požari biljnih i životinjskih ulja i masti gase se specijalnim sredstvima.

2.4. Taktika gašenja požara

Kod obavljanja vatrogasne djelatnosti, vatrogasni zapovjednici imaju najodgovorniji dio, a to je donošenje odluka. U kratkom vremenu moraju donositi kvalitetne i sigurne odluke u cilju reduciranja štete na što nižu razinu. Kvaliteta odluke najviše ovisi o iskustvu i znanju zapovjednika, i prikupljenim informacijama o požaru. Kod gašenja požara zatvorenih prostora, glavni odabir taktike je gašenje unutarnjom navalom.

Unutarnja navala najbrži je i najučinkovitiji način svladavanja požara u zatvorenom prostoru i podrazumijeva gašenje samog središta požara. Tim se pristupom najbrže ugasi požar, šteta je najmanja, najmanja je potrošnja sredstva za gašenje, a efikasnost spašavanja je najveća. No, najveća je i opasnost za vatrogasce. Unutarnja navala vatrogascima predstavlja poseban izazov. Ulaskom u zatvoreni prostor u kojem je požar, vatrogascima prijete velik pogibelji. Kretanje nepoznatim prostorom bez ikakve vidljivosti i pretraživanje tog prostora samo opipom zahtijeva veliku uvježbanost tima koji ulazi, a osobito fizičku i psihičku pripremljenost pojedinaca. U tom prostoru može nastati mnogo ugroza poput trovanja i gušenja, isijavanja topline, panike, djelovanja sredstava za gašenje, plamenih udara itd., no najčešći zdravstveni uzroci stradavanja

vatrogasaca su zastoj rada srca, opekline, problemi s disanjem, gubitak svijesti te mehaničke povrede. Vatrogasno-taktički uzroci stradavanja vatrogasaca su nagli razvoj požara (npr. flashover ili backdraft) i odsijecanje odstupnice, tehnički problemi (uglavnom s izolacijskim aparatima – plućni automat; nedostatak zraka), gubitak orijentacije u prostoru, rastavljanje grupe i donošenje krivih odluka. Vatrogasne postrojbe svih razina organiziranja i djelovanja u svom radu veliku pozornost posvećuju sigurnosti vatrogasaca. Nošenje kompletne zaštitne opreme prvi je stupanj zaštite. U postrojbi treba postojati čvrsta obveza nošenja osobne zaštitne opreme i nemoguće je pronaći vatrogasca koji ne nosi kompletnu osobnu zaštitnu opremu. Daljnji stupanj zaštite odnosi se na psihičku i fizičku spremu vatrogasaca, upotrebu skupne zaštitne opreme i pridržavanje sigurnosnih smjernica pri akcijama gašenja i spašavanja. Svakodnevnim treningom i osposobljavanjima obnavljaju se već stečena znanja, ali i usvajaju nova. Vatrogasne grupe koje pristupaju akciji gašenja i spašavanja unutarnjom navalom na izolacijskim aparatima imaju zakvačenu filter masku koja služi za izvlačenje stradalih osoba, a može poslužiti i samom vatrogascu, ako dođe do nepredviđenih situacija. Maska se sastoji od kapuljače i filtera koji do 15 minuta filtrira plinove nastale u požaru. Na izolacijskom aparatu nalazi se torbica sa škarama za rezanje žice (opasnost, radi slabe vidljivosti, od zaplitanja u vodove koji vise), kredom za označavanje pretraženog prostora ili dodatno obilježavanje smjera kretanja te svjetleća potpora za podupiranje vrata. Na visinskom vozilu nalazi se torba s dodatnom maskom, plućnim automatom, dugačkom srednjetačnom cijevi i rezervnom bocom sa zrakom. Ti se dijelovi mogu spojiti na izolacijski aparat ozlijeđenog vatrogasaca ili je ozlijeđenom vatrogascu moguće zamijeniti masku i izolacijski aparat. Svi djelatnici uvježbani su za izmjenu aparata ili maske u prostoru nulte vidljivosti. Po dolasku na mjesto intervencije, a posebno pri dolasku gasnog vlaka, posada autocisterne također oblači izolacijski aparat i stavlja se na raspolaganje voditelju intervencije za slučaj stradavanja vatrogasaca. U slučaju nezgode voditelj intervencije bira hoće li ostati na istom kanalu radioveze sa stradalom grupom ili će promijeniti kanal kako bi se odvojili od ostatka intervencije i akcije spašavanja. Komunikaciju radiovezom potrebno je uvježbavati jer je bitno prenijeti sve informacije, ali one moraju biti kratke i jasne. Otvoren komunikacijski kanal i raspolaganje svim informacijama može biti presudno za kvalitetno izvođenje intervencije. Vatrogasne grupe koje postavljaju cijevnu prugu upotrebljavaju fluorescentne cijevi radi bolje uočljivosti, a grupe koje pretražuju po užetu upotrebljavaju užu za pretraživanje koje na sebi ima kuglice koje olakšavaju određivanje smjera kretanja. Kuglice su fluorescentne, a u uvjetima nulte vidljivosti omogućavaju određivanje smjera kretanja prema opipu. Svaki vatrogasac u svojoj opremi posjeduje i gurtu koja omogućava povezivanje vatrogasaca u grupi ili izvlačenje ozlijeđenog vatrogasca. Gurtu također može poslužiti za samoizbavu ili neke druge radnje. [4]

U Republici Hrvatskoj razina provođenja unutarnje navale na visokoj je razini čemu u prilog govori mali broj stradalih vatrogasaca. Kako bi se taj trend i nastavio potrebno je provoditi daljnju izobrazbu, prihvaćati primjere europskih i svjetskih vatrogasnih organizacija i upozoravati na manjkavosti pojedinih sustava. U svijetu, također i u susjednim zemljama poznat je protokol u slučaju stradavanja vatrogasaca, dok ga Hrvatska još nema. Također postoje i grupe specijalizirane za spašavanje vatrogasaca. Takve protokole potrebno je preuzimati i prilagođavati našim taktikama, standardizirati i aktivno provoditi i uvježbavati. Redovitim provođenjem nastave i vježbi, analizama prethodnih požara i praćenjem literature podiže se svijest samih vatrogasaca o opasnostima koje im prijete. Uvježbavanjem pojedinih segmenata taktičkog nastupa i korištenjem različite opreme smanjuje se mogućnost nastanka nepredviđenih situacija. [4]

3. PLAMENI UDARI

Plameni udari su pojave koje se događaju prilikom požara zatvorenog prostora. Oni su rezultat procesa gorenja i nekih preduvjeta kao što su ventilacija, bilo dobra, bilo loša, količina gorive tvari, odnosno vrijeme koje je proteklo od početne faze požara. Prilikom gorenja goriva se tvar spaja sa kisikom iz zraka, burno oksidira uz prisustvo topline i svjetlosti. Tijekom zagrijavanja gorive tvari oslobađaju primarne produkte izgaranja, zapaljive plinove koji u dodiru s plamenom oksidiraju u sekundarne, reakcijske produkte koji najčešće više nisu zapaljivi. Primarni se produkti izgaranja još zovu pirolitički produkti (plinovi). Ti su plinovi, ovisno o tvari, zapaljivi i mogu, ako ne izgore na mjestu nastanka, stvarati eksplozivne smjese. Gorenjem bez prisustva kisika, odnosno uz premali dotok kisika nastaju plinovi suhe destilacije i prvenstveno sadrže ugljični monoksid. Ovi plinovi mogu stvoriti eksplozivnu smjesu, a ugljični monoksid je i otrovan plin, što naravno predstavlja veliku opasnost za vatrogasce. Nastali plinovi mogu stvoriti eksplozivnu smjesu uz uvjet da je njihov sastav u okviru granica eksplozivnosti. Kada je prevelika ili premala količina goriva do eksplozije neće doći. Te granice definirane su kao donja granica eksplozivnosti i gornja granica eksplozivnosti. [3]

Toplina koja se oslobađa izgaranjem diže se u područje stropa te se tamo akumulira (slika 3.1).

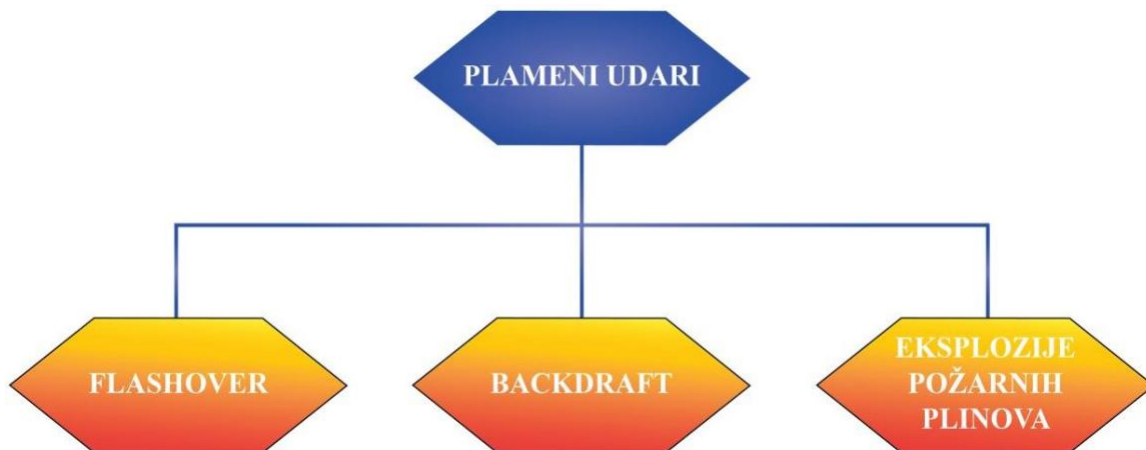


Slika 3.1 Odnos temperature pri požaru zatvorenog prostora Izvor: [3]

3.1. Vrste plamenih udara

Slika 3.2 prikazuje tri osnovna oblika plamenih udara u zatvorenom prostoru, a to su:

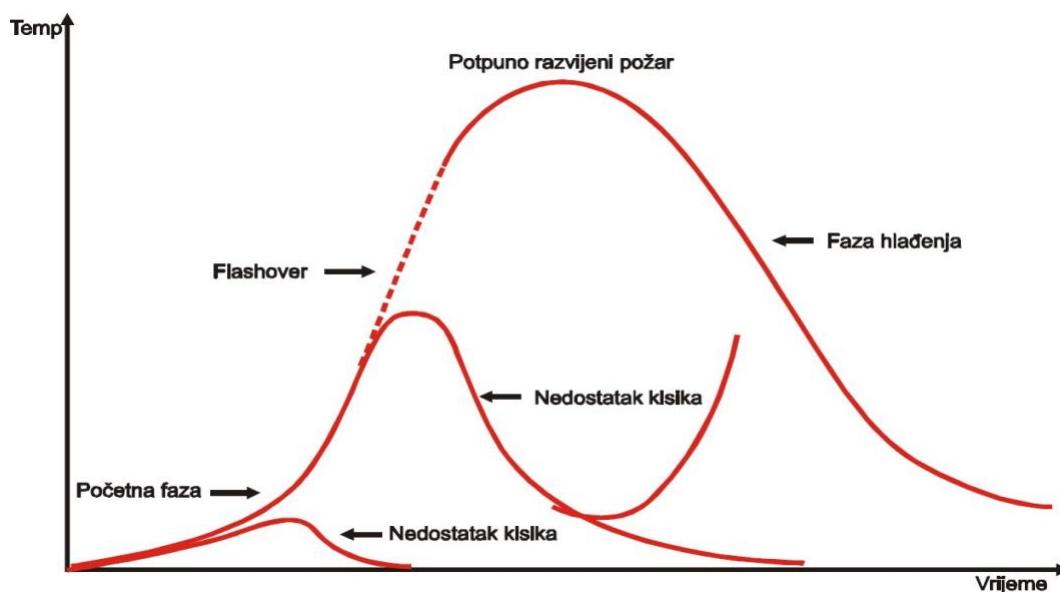
- plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora ili flashover,
- plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora ili backdraft,
- zapaljenje plinova i para ili eksplozije požarnih plinova.



*Slika 3.1 Podjela plamenih udara
Izvor: autor*

Dakle, u početnom požaru u zatvorenom prostoru uslijed pirolize dolazi do oslobađanja gorivom bogatih produkata izgaranja koji se skupljaju pod stropom. Ako je smjesa produkata izgaranja prebogata i nalazi se iznad gornje granice eksplozivnosti ne može kulminirati flashoverom.

U tom trenutku požar koji tinja može se potpuno ugasiti uslijed nedostatka zraka ili nedovoljne količine gorive tvari ili pak se ulaskom svježeg zraka i izvora paljenja pretvoriti u jedan od plamenih udara. Plameni udar također može kulminirati i prije ako se smjesa produkata pirolize našla unutar granica zapaljivosti, no tada će biti slabijeg intenziteta. Takav flashover zovemo «flashover slabijeg intenziteta». Ako pak požar uslijed prebogate smjese ne kulminira flashoverom vrlo je vjerojatno da će doći do odgođenog ili moguće do potpunog flashovera. Nakon plamenog udara požar prelazi u potpuno razvijenu fazu. [3]



Slika 3.3 Prikazuje nekoliko mogućih scenarija razvoja požara u zatvorenom prostoru

Izvor: [5]

3.2. Flashover – plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora

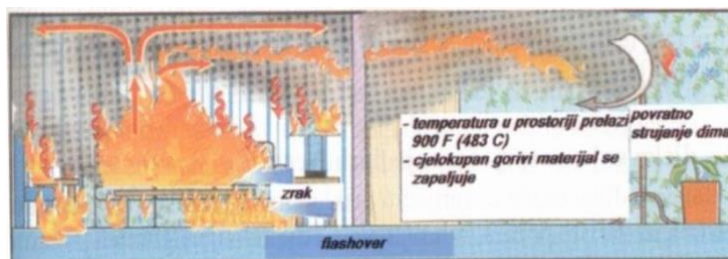
Izraz flashover prvi je opisao britanski znanstvenik P. H. Thomas šezdesetih godina prošlog stoljeća, a korišten je da opiše razvoj požara od početne faze do točke poslije koje požar postaje potpuno razvijen. Ova definicija opisuje da „faza razvoja požara kulminira flashoverom“. Ovakva teorija nije potpuno prikladna da bi u potpunosti opisala ovaj termin pa je i sam Thomas nakon nekoliko godina dodao da flashover ovisi o mnogo drugih faktora.[6]

Danas se flashover definira kao plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora, koji se događa na prijelazu između faze razvoja požara i njegove razbuktnute faze i to tako da se pri stropu prostorije nakupljaju plinovi nastali pirolizom gorivog materijala, koji su zagrijani do temperature paljenja (slika 3.2.).



Slika 3.2.. Povišenje temperature u prostoriji ovisno o temperaturi požarnih plinova [6]

Radijacijom (zračenjem) se ta toplinska energija plinova i dima prenosi na sav gorivi materijal u prostoriji, pa u trenutku kad se dostigne određena temperatura dolazi do gotovo istovremenog zapaljenja cjelokupnog gorivog materijala u prostoriji dakle flashovera (slika 3.3.).



Slika 3.3. Primjer flashovera [6]

Pod pojmom ventiliranog prostora podrazumijevamo prostoriju u kojoj su uslijed požara popucala prozorska stakla ili pregorjela vrata, što omogućava dotok svježeg zraka.[7]

Iako znanstvenici definiraju pojavu flashovera na više načina, većina njihovih definicija te pojave temelji se na visokoj temperaturi unutar prostora zahvaćenog požarom, a koja uzrokuje naglo, gotovo istovremeno zapaljenje cjelokupnog gorivog materijala u prostoriji.[7]

Iako se uz pojavu flashovera ne može vezati neka precizna temperatura, ipak se područje između 483°C i 649°C , smatra kao temperaturno područje nastanka ove pojave. Navedeno temperaturno područje se direktno povezuje sa temperaturom paljenja ugljičnog monoksida (CO), koja iznosi 609°C , jer je ugljični monoksid (CO) najzastupljeniji plin u procesu pirolize.

Do razbuktavanja (zapaljenja) zadimljenog sloja doći će čim se postigne donja granica eksplozivnosti (DGE) pirolitičkih plinova i ako postoji dovoljno kisika za izgaranje svih pirolitičkih plinova.

Nakon takvog zapaljenja cijela će prostorija buknuti, a preživljavanje bez zaštite je nemoguće (slika 3.4). Zaštitno odijelo prema EN 469 omogućit će korisniku povlačenje u trajanju od oko 5-8 sekundi. Na žalost to je premalo vremena da bi se vatrogasac povukao iz prostorije bez teških ozljeda, a najčešće se radi o opeklinama opasnim po život.



Slika 3.4. Prostorija nakon pojave flashovera [7]

Povratni plameni udar - ako je temperatura plinova suhe destilacije i pirolitičkih plinova iznad temperature paljenja, pri dodiru s kisikom iz zraka doći će do trenutnog paljenja, a plamena fronta krenut će od otvora prema unutrašnjosti prostorije. [8]

Odgodeni plameni udar - opasna će situacija nastupiti i onda kada ulaskom zraka nastane eksplozivna smjesa, koja se zbog nedostatka izvora paljenja neće trenutno zapaliti. Ako se djelovanjem vatrogasaca pojavi izvor paljenja npr. raskrivanje žarišta, doći će do eksplozije kod koje će se vatrogasci naći u njenom središtu. [9]

Pritajeni plameni udar - opasnost od pritajenog plamenog udara javlja se kada su se eksplozivne smjese nakupile u drugim prostorijama kao što su predsoblja, sporedne sobe, tada će uslijed približavanja izvora paljenja također doći do eksplozije. [9]

Rollover ili flameover - razlika od flashovera je u tome što u ovom slučaju ne gore površine zagrijanih predmeta odnosno pare nastale njihovim zagrijavanjem, nego plinovi koji se nalaze u samom dimu, a pale se zbog visoke temperature ili doticaja s plamenom. Pojava ovakvog plamenog udara može se pojaviti tijekom faze razvoja požara i prilikom izlaska vrućih požarnih plinova u susjedni prostor gdje se ti plinovi miješaju sa većom količinom zraka, pri čemu dolazi do njihovog zapaljenja, ako je temperatura zapaljivih plinova dosegla temperaturu samozapaljenja. [10]

3.3. Predznaci flashovera

U prirodnom tijeku požara razbuktavanje dima javlja se u ranoj fazi požara. Međutim to se očituje tek u tijeku vatrogasne intervencije. Do flashovera najčešće dolazi kada se prve mjere zaštite pokažu neučinkovitim ili kada se ne može odrediti žarište požara. Razbuktavanje dima ima samo jedan, stvarno pouzdan predznak (porast temperature), stoga je nužno poduzimanje preventivnih mjera zaštite.[1]

Najvažniji predznaci flashovera su:

- a) **dim** - prvi znak prijetećeg flashovera je ekstremno gust, taman dim koji dinamično izlazi iz prostorije, zgrade ili kuće. Ako je dim uz to još i toliko vruć da se u njemu ne može držati ruka, to također upućuje na predstojeći flashover.

- b) **plameni jezici** - ako se u zadimljenoj zoni ili na njejoj granici s ne zadimljenom zonom javljaju plameni jezici, za nekoliko će sekundi doći do flashovera (razbuktavanja dima). Stoga odmah treba poduzeti mjere zaštite (gašenje) ili krenuti u povlačenje. Ako se dim pali na zraku dok izlazi iz objekta, potrebno je na to upozoriti grupe koje se nalaze u unutarnjoj navali, a po potrebi zapovjediti njihovo povlačenje.

- c) **porast temperature** - jedini pouzdani predznak flashovera (razbuktavanja dima) jest upadljivo jaki porast temperature. Taj se porast može osjetiti i preko zaštitne odjeće i sigurno najavljuje flashover.

Teško je, dakako, predvidjeti flashover. U zatvorenom prostoru je prisutno mnogo faktora koji sprečavaju suvislo rasuđivanje. Na vatrogascima je da sačuvaju prisutnost duha i da realno razmišljaju, odnosno da ne zanemaruju znakove koje dobivaju od samog požara. Jer, upravo pravovremeno djelovanje je jedini pravi način sprečavanja plamenih udara

3.4. Taktika sprječavanja flashovera

Flashover (razbuktavanje dima) može se spriječiti prikladnim mjerama, a to su u prvom redu navala usmjerena na žarište požara, odimljavanje i djelovanje s granica požarnog sektora.

3.5. Odimljavanje

Odimljavanje je u prvom redu odvođenje dima i topline iz objekta, a tek onda prozračivanje objekta. Budući da je flashover prema definiciji razbuktavanje dima nastalog u požaru, opravdano je mišljenje da ga treba ukloniti iz objekta. Uvjetovano dvjema zonama u prostoriji (zračne zone i zadimljene zone), otvor za odimljavanje treba postaviti što više, kako bi se vrući dim odvodio, a ne raspirivala vatra dotokom svježeg zraka. Otvor bi isto tako trebao biti što bliže žarištu požara, da vrući dim ne bi morao prolaziti objektom i na svom putu uzrokovati dodatnu štetu. U praksi to znači da se odmah trebaju koristiti postojeći otvori (krovni prozori, svjetlosne kupole i ostali otvori na krovu) i da se na vrijeme, čim se primijeti da ne postoji mogućnost neposrednog gašenja žarišta, naprave otvori za odimljavanje.[1]

Kod požara stanova potrebno je najprije izvana razbiti stakla odnosno vjetreno okno, a zatim prozorska krila počevši sa strane. Nikada se ne smije stajati neposredno ispred odnosno ispod prozora/vrata koja se razbijaju ili otvaraju.

Kod većih objekata poput skladišnih hala ili potkrovlja, potrebno je na vrijeme formirati sektore za odimljavanje na krovu ili odimljavanje s bočne strane s barem jednom grupom koja je opremljena s opremom i alatom za razvaljivanje (motorne pile, sjekire i poluge za razvaljivanje). Kod odimljavanja zgrada s ravnim krovom postoje ofenzivni i defenzivni postupci odimljavanja. Ofenzivno je moguće intervenirati samo na početku intervencije, a sastoji se od otvaranja krova (2m x 2m) iznad žarišta radi odvođenja dima i plamena.

Defenzivni se postupci odimljavanja provode nakon ofenzivnih, ili ako iz sigurnosnih razloga drukčije nije moguće djelovati. Kod defenzivnog se odimljavanja mora napraviti otvor dovoljno udaljen od žarišta požara, širine jednog metra uzduž cijele bočne strane zgrade, koji će zajamčiti odvođenje dima i topline. Eventualni viseći stropovi probijaju se polugom.

U otvore za odimljavanje ne smije se ubacivati voda. Žarište požara se ionako najčešće ne može dosegnuti mlazom vode, a vodena para koja nastaje stvara čep ispred otvora i tako sprječava odvođenje dima. Ako se primjenjuje tlačno odimljavanje uređajem za upuhivanje zraka potrebno je obratiti pozornost da izlazni otvor uređaja pokrije otvor za dovod zraka te da se eventualno upotrijebi više uređaja. Ukoliko to nije moguće, treba odustati od tlačnog odimljavanja jer se u suprotnom samo dovodi svjež zrak, a ne odvodi dim.

3.6. Gašenje

Neposredno gašenje žarišta požara zasigurno je najbrža i najefikasnija metoda za sprječavanje flashovera. Protok vode na mlaznici od 100 l/min dostatan je za prostorije do 30 m², što odgovara većini stambenih prostorija. U većim prostorijama poput hala, podruma ili potkrovlja protok vode mora iznositi znatno više od 100 l/min. Ovakav postupak nužno zahtijeva korištenje mlaznica s mogućnošću regulacije protoka vode.[1]

U slučajevima kod kojih je uobičajeno neposredno gašenje žarišta požara nemoguće ili preopasno zbog vrućeg dima, potrebno je hlađenje samog dima. A to je moguće samo boljim mlaznicama ili visokotlačnim pumpama, jer promjer kapljica vode mora biti manji od 0,3 mm, kako bi imale što veći učinak hlađenja dima. Kapljice vode toga promjera dobro se isparavaju prolazeći kroz vatru ili dim.

Idealna bi bila primjena tehnike impulsnog gašenja požara. Za taj je postupak karakteristično da se u dim izbacuje voda u impulsima u trajanju od 2-3 sekunde pri čemu mlaz vrluda - „šara“. Kut i širina mlaza ovise o veličini i dubini prostorije. U velikim dugim prostorijama izbacuje se uski raspršeni mlaz kojemu kut iznosi 30°, a u manjim, kratkim prostorijama široki raspršeni mlaz .

Stvaranje vodene pare i smanjenje volumena tako hlađenog dima kod pravilne primjene mlaza ne utječu na održavanje termičke ravnoteže. Nastala vodena para ne ugrožava navalnu grupu koja nakon hlađenja dima može početi s neposrednim gašenjem. Ovaj postupak, međutim, iziskuje intenzivnu izobrazbu kao i uvježbavanje u nekom od simulatora plamenih udara. Impulsno gašenje nije moguće običnim mlaznicama. Takvim se mlaznicama može samo hladiti strop radi sprječavanja nagomilavanja topline.

3.7. Eksplozije ili zapaljenja požarnih plinova

Flashover i backdraft dva su odvojena događaja, što znači da za njihov nastanak trebaju biti zadovoljeni različiti uvjeti. Međutim, postoje situacije u kojima može doći do paljenja požarnih plinova u prostorima u kojima oni nisu nastali. Takve situacije nisu povezane ni s kojim od spomenutih događaja, ali imaju vrlo sličan učinak. Razvijanje požarnih plinova može se dogoditi unutar zgrade. Požarni plinovi, mogu se naći unutar gorućeg prostora zgrade, susjednim prostorijama, ulaznim hodnicima (veže ili okna) i hodnicima. Oni se mogu gibati, udaljiti od izvora požara, kroz građevinske šupljine ili u potkrovne prostore. Dotok zraka nije uvjet za paljenje tih plinova čija je koncentracija već u okvirima eksplozivnosti, već je jednostavno dovoljan izvor paljenja. Pojavi li se neki izvor paljenja, eksploziju koja će uslijediti moguće je usporediti s backdraftom, ali se ipak radi o „eksploziji požarnih plinova" koncentriranih u nastalom dimu. Paljenje zagrijanih požarnih plinova moglo bi se dogoditi i na mjestu gdje se oni miješaju sa zrakom, odnosno na mjestu njihova izlaska iz gorućeg prostora. To se može dogoditi kod prozora ili ulaznih vrata, a rezultirajuća vatra može se vratiti u prostoriju povratnim gorenjem kroz dimni sloj. Neupućeni će teško razlikovati eksploziju požarnih plinova i backdraft. Za razliku od backdrafta i flashovera, koji se događaju unutar (ili iz) opožarenog prostora, eksplozija požarnih plinova događa se u izdvojenim prostorima. [3]

3.8. Oprema za zaštitu vatrogasaca od plamenih udara u zatvorenom prostoru

S obzirom da se pri intervencijama vezanim za požare zatvorenih prostora razvijaju vrlo visoke vrijednosti oslobođene toplinske energije, vrlo opasni i štetni plinovi, kao i čađe koja je zastupljena u dimu, primarna zadaća svake postrojbe je, prije svega, osigurati zaštitu operativnih vatrogasaca na takvim vrstama intervencija. Tu svakako podrazumijevamo korištenje osobne i skupne zaštitne opreme, ali i opreme koja je specijalizirana za provedbu raznih taktičkih zadataka.

Osobna zaštitna oprema.

U osobnu zaštitnu opremu, koju koristimo kod požara zatvorenog prostora, ubrajamo:

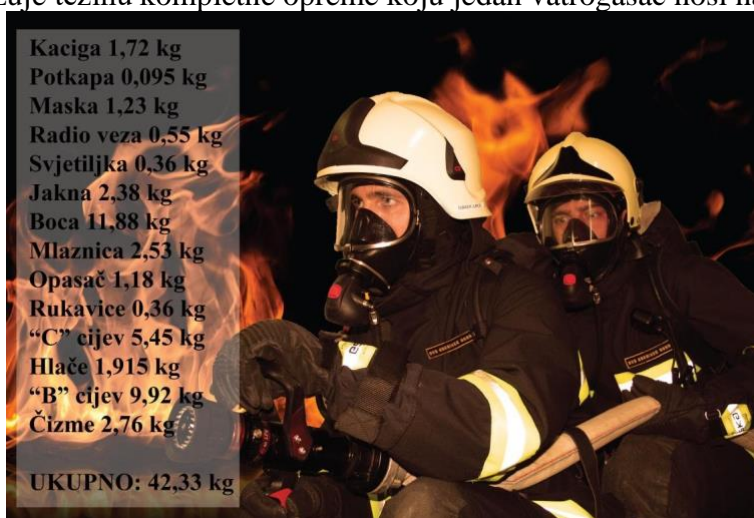
- odijelo za prilaz vatri,
- vatrootporne čizme,
- zaštitna kaciga sa štitnikom za vrat,
- rukavice, zaštitna maska, potkapa.

Skupna zaštitna oprema.

U skupnu opremu koju koristimo pri požaru zatvorenog prostora ubrajamo:

- penjačko i radno uže, aparate za zaštitu dišnih organa,
- dozimetre i detektore uz pribor za dekontaminaciju,
- eksploziometar,
- akumulatorsku svjetiljku u sigurnosnoj izvedbi, i
- drugu potrebnu opremu.

Slika 3.6 prikazuje težinu kompletne opreme koju jedan vatrogasac nosi na sebi.



Slika 3.8. Težina opreme vatrogasca
Izvor: Autor

4. ANALIZA POSTOJEĆIH SIMULATORA PLAMENIH UDARA U HRVATSKOJ

Da bi mogli na siguran način obavljati svoju zadaću tijekom operacije gašenja požara, vatrogasci trebaju imati teorijsko i praktičko znanje o tome kako se vatra razvija i ponaša, kako ne bi ugrozili život moguće unesrećene osobe u prostoru, život drugih vatrogasaca i vlastiti život. Shodno tome, u Švedskoj su se najprije započeli provoditi treninzi u simulatorima plamenih udara, a kasnije se obuka počela provoditi diljem svijeta. Ovakav trening pokazao se skupim, ali je vrlo važan čimbenik u povećanju sigurnosti vatrogasaca. U zemljama poput Švedske, Velike Britanije i Australije, ovakav program osposobljavanja znatno je smanjio pogibije vatrogasaca i teške opekline kojima su uzrok različiti plameni udari.

Obuke u simulatorima plamenih udara u Republici Hrvatskoj počeli su se provoditi 2005. godine, nakon proizvedenog prvog takvog simulatora od početnika ideje Siniše Jembriha (JVP Zagreb) i Maria Rogine (JVP Varaždin). Postoje dvije vrste simulatora, a to su simulator na kruta goriva i plinski simulator.

Vježbe u kontejneru za simulaciju plamenih udara smije se izvoditi samo ako su sudionici opremljeni kompletnom zaštitnom odjećom prema EN 469 i zaštitnom opremom kako slijedi:

- vatrogasna zaštitna jakna,
- vatrogasne zaštitne hlače,
- potkapa višeslojna,
- vatrogasne zaštitne čizme,
- vatrogasna kaciga (bez vanjskog vizira) sa zaštitom za vrat,
- uređaj za zaštitu organa za disanje (izolacioni aparat na komprimirani zrak),
- lagane radne hlače ili pamučna trenirka. [15]

5. SIMULATORI PLAMENIH UDARA

Treniranje unutarnje navale za operacije gašenja danas je važnije nego ikada. Suvremeni vatrogasci trebaju imati teorijsko i praktično znanje o tome kako se vatra razvija i kako se ponaša u širokom spektru ventilacijskih parametara, u jednodjelnim i višedjelnim prostorima i strukturama. U takvom treningu trebalo bi veliku pažnju posvetiti tome kako se plamen formira i kako putuje unutar nekog prostora i jasno odrediti pojam rizičnog zadatka koji je povezan s opasnostima, a koje proizlaze iz backdrafta i flashovera i ostalih oblika brzog širenja vatre. Nastavno na to, različiti oblici navale, uključujući izravnu navalu (koristeći vodu i CAFS), neizravnu navalu i noviju 3D vodenu maglu, trebali bi biti dobro objašnjeni i iskušani kroz razne uvjete u kojima se vatrogasci nalaze u intervencijama.

Ovaj trening mogao bi se pokazati skupim, ali je vrlo važan ukoliko želimo povećati sigurnost vatrogasaca. U nekim zemljama poput Švedske, Velike Britanije i Australije ovaj program je uvelike smanjio pogibije vatrogasaca i teške opekline kojima su uzrok različiti plameni udari (slika 5.).



Slika 5. Vanjski izgled simulatora [6]

Iskustvo je pokazalo da vatra u simulatorima zna premašiti granicu između stvarnosti i sigurnosti, čak i kad se poštuju sigurnosni i tehnički propisi. U takvim treninzima moguće su različite situacije i stanja koje su često nepredvidljiva i koja je teško ponoviti ili kontrolirati

U Europi je već odavno shvaćeno da namjenski dizajnirane građevine omogućavaju to da se gorivo koje se upotrebljava pripremi u optimalnim količinama u odnosu na geometrijske parametre prostorija i time se pruža najsigurniji ambijent za učenje vatrogasaca kako se vatra u prostorijama razvija i demonstraciju tehnika kontrole i suzbijanja vatre. Takve građevine također omogućuju najekonomičniji način uvježbavanja vatrogasaca i ujedno stvaranja realnih, ali kontroliranih stanja.

Za konstruiranje jeftinih, no učinkovitih struktura, najbolje mogu poslužiti brodski kontejneri za prijevoz tereta. Velika im je prednost što ih ima u različitim dimenzijama i mogu se lako prilagoditi. U Europi se u promatranju ponašanja vatre u jednodjelnim prostorijama ovakvi kontejneri rabe već dvadesetak godina kako bi se demonstrirao razvoj vatre i pojava plamenih udara - flashover i backdraft, uz omogućavanje vatrogascima da budu prisutni formiranju plamena, njegovu gibanju i različitim pojavama vezanih uz vatru iz neposredne blizine, a da uz to imaju veliku dozu sigurnosti. Tu se omogućava vatrogascima da uvježbavaju i procjenjuju koji bi pristup ulaženja u prostor i gašenja bio najbolji. Time stječu iskustvo i ujedno im se podiže samopouzdanje za situacije kada se nađu u takvim prilikama na intervencijama.

Simulatori se također upotrebljavaju za učenje tehnika ulaženja u prostore i upoznavanje različitih stanja vatre i plamena. Vrlo je važno napomenuti da su takvi treninzi samo simulacije mnogo realnijih uvjeta i vatra u treningu nikada ne može točno dočarati stvarne situacije u kojima je potreban velik oprez.

U treningu nema tolike količine vatre poput one iz katastrofalnih požara te se u stvarnosti pojave i događaji koji se uvježbavaju u simulatorima događaju brže u građevinama koje se sastoje od puno odijeljenih prostora i čija je struktura nepoznata vatrogascima. Unatoč tome simulatori su dovoljno blizu stvarnosti i dovoljni su za uvježbavanje vatrogasaca.

5.1. Simulatori plamenih udara u Republici Hrvatskoj

Prije deset godina simulator plamenih udara za vrući trening vatrogasaca bio je u Republici Hrvatskoj samo san zagriženih entuzijasta. Danas imamo devet simulatora plamenih udara od kojih je jedan plinski, a osam ih je na kruta goriva.

Početna ideja o dovođenju simulatora u Republiku Hrvatsku rodila se 2005. godine u glavama Siniše Jembriha, danas zapovjednika JVP Zagreb-Centar i Maria Rogine, danas zapovjednika smjene u varaždinskoj JVP . Oni su nakon ideje ostvarili kontakte s brojnim svjetskim organizacijama koje organiziraju obuku u simulatorima plamenih udara. Njihovo prisustvovanje seminaru u Hamburgu 2005. godine bila je odlična prilika za uspostavu kontakata, jer su na tom seminaru dobili prve smjernice za tehničku proizvodnju simulatora, ali i za programe obuke što je jednako bitno. Upravo 2006. godine navedeni dvojac piše i izdaje „Upute za izgradnju i korištenje simulatora plamenih udara” kojom je opisana većina postupaka u takvoj obuci. U Karlovcu je 2007. godine organizirana i provedena prva obuka u simulatoru plamenih udara u Republici Hrvatskoj. Prvu vježbu u simulalatoru izveli su instruktori Siniša Jembrih i Mato Frančešević (JVP Zagreb), Mario Rogina i Damir Martan (JVP Grada Varaždina), Darinko Kos (JVP Karlovac) i Darko Zajčić (JVP Ivanić Grad) (slika 6.)



Slika 5.1. Prvi instruktori u Republici Hrvatskoj [6]

Simulator u kojem je izvedena prva vježba bio je simulator klase A, na kruta goriva, a izrađen je i certificiran prema europskoj normi DIN 14 097/1-4 (slika 5.1.1.).



Slika 5.1.1. Prvi simulator plamenih udara u RH (JVP Karlovac 2007. godine)[6]

Taj simulator plamenih udara u kojem je održana prva vježba u Republici Hrvatskoj je 2008. godine prebačen na vježbalište JVP Ivanić Grada. U kolovozu 2007. godine Vatrogasnoj školi Učilišta vatrogastva i zaštite i spašavanja Državne uprave za zaštitu i spašavanje isporučen je pokretni plinski simulator plamenih udara tipa Fire Dragon III. U njemu se od tada provodi Program osposobljavanja na pokretnom vježbalištu. Obuku većinom prolaze polaznici Vatrogasne škole koji tijekom školovanja steknu pravo na vježbanje u simulatoru. Nakon ova dva simulatora, tijekom sljedećih godina organizirana je obuka u simulatorima plamenih udara u: Klani kod Rijeke, Splitu, Osijeku (Našicama), Makarskoj, Dubrovniku, Slatini i Varaždinu (slika 5.1.2.)



Slika 5.1.2. Raspored simulatora plamenih udara u RH

Od prve vježbe u simulatoru plamenih udara , koja je održana 2007. godine do posljednje, vježbe održane u 2015. godini, je sudjelovalo ukupno 3815 vatrogasaca Republike Hrvatske (dobrovoljnih i profesionalnih). Po statistici Udruge profesionalnih vatrogasaca Republike Hrvatske trenutno u Republici Hrvatskoj djeluje 61 javna vatrogasna postrojba u kojima je uposleno 2351 vatrogasac, a okviran broj dobrovoljnih vatrogasnih društava u Republici Hrvatskoj je 1788, koja za svoje djelovanje raspolažu s 40 035 dobrovoljnih vatrogasaca. Iz ovih podataka može se zaključiti da je od ukupnog broja vatrogasaca (dobrovoljnih i profesionalnih) u Republici Hrvatskoj njih 9 % (3815 vatrogasaca) završilo obuku u nekom od simulatora plamenih udara. Republika Hrvatska trenutno raspolaže sa 92 licencirana instruktora za provođenje vježbi u simulatorima plamenih udara.

5.2. Plinski simulator – Fire dragon III

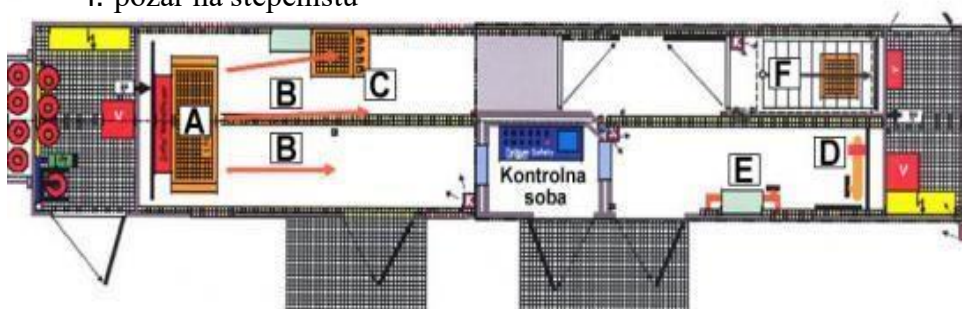
Dräger Safety AG & Co. KGaA Fire Dragon III pokretno vježbalište plamenih udara namjenski je dizajniran objekt na kotačima kojeg po potrebi može vući teretno vozilo. Simulator kao energent koristi plin propan u optimalnim količinama u odnosu na geometrijske parametre prostorija i time pruža siguran ambijent za učenje vatrogasaca o razvoju požara u zatvorenom prostoru i demonstraciju tehnika kontrole i suzbijanja požara. Uređaj za simulaciju požara opremljen je softverom za upravljanje i sa različitim sustavima za kontrolu i sigurnost (slika 5.2.).[6]



Slika 5.2. Fire Dragon III – plinski simulator [6]

Simulator požara sastoji se od nekoliko požarišta:

- a. kauč +požar zidne stijenke
- b. flashover
- c. kuhinjski požar
- d. požar na plinskim bocama
- e. požar na brojaču plina
- f. požar na stepeništu

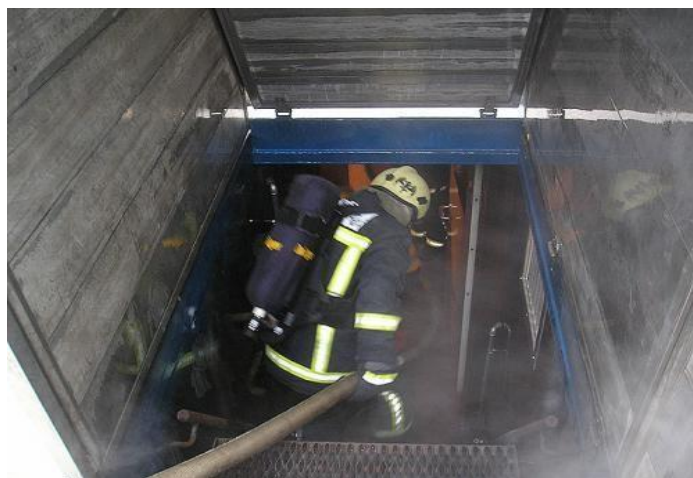


Slika 5.2.1. Unutrašnjost simulatora Fire Dragon III [6]

Simulator (slika 5.2.1.) se sastoji i od ostalih sustava za simulaciju požara te kontrolu i upravljanje cijelim sustavom: glavna plinska regulacijska konzola, konzola za reguliranje plamenika, sigurnosni uređaji, uređaj za zadimljavanje, ventilacijski sustav, kontrolna soba za upravljanje uređajem, uređaj za opskrbu plinom za priključivanje 4 odnosno 8 komada, 33 kg plinskih boca s propan-butanom, prikolica-vozno postolje. Sigurnosni uređaji smješteni su na samim požarištima i u okolnim tehničkim sobama kako bi se u svakom trenutku kontrolirao cijeli sustav. U slučaju npr. prevelike temperature ili smjese zraka i plina koja je prešla 25% DGE cijeli sustav automatski započinje sa sigurnosnim gašenjem koje se sastoji od provjetravanja u nuždi, zaustavljanja dotoka plina, isključivanja svih požarišta i generatora dima, trenutnog provjetravanja od dima i plina u prostoru za vježbanje s maksimalnim učinkom ventilatora. Kontrolna soba je smještena u sredini tako da instruktori imaju pregled nad svim požarištima.

Cijeli prostor za vježbanje i požarišta pokriveni su kamerama, a unutar simulatora na nekoliko mjesta nalaze se sigurnosne gljive na kojima vatrogasac sam u slučaju opasnosti može prekinuti vježbu i pokrenuti sigurnosno gašenje.

Dva instruktora se cijelo vrijeme nalaze u simulatoru s polaznicima, dva instruktora nalazi se u kontrolnoj sobi, a ostali instruktori se nalaze u krugu vježbališta. U simulatoru postoje dvojna vrata za ulaz plus ulaz s krova tako da se u kombinaciji 6 požarišta može izvesti velik broj različitih taktičkih vježbe (slika 5.2.2.).



Slika 5.2.2. Ulaz u simulator Fire Dragon III [6]

Najveće temperature koje se mogu postići u simulatoru su do 250° C na 1,00 m visine i/ili 650° C ispod stropa jer na tim temperaturama sustav automatski započinje sa sigurnosnim gašenjem.

Vježbe se odrađuju na način da ovisno o odabranom taktičkom zadatku po dvoje vatrogasaca ulazi u simulator, kreće se po njemu, prelaze iz prostorije u prostoriju, međusobno komuniciraju i gase određena požarišta. Požarišta koja se sastoje od plinskih plamenika pali instruktor iz kontrolne sobe i kontrolira intenzitetom i trajanjem požara na požarištu. Da bi uvjeti bili što sličniji onim na požaru uređaj za zadimnjavanje prostor napuni bijelim neotrovnim dimom, te se na taj način smanji vidljivost.

Kako bi se poboljšali uvjeti za operativno uvježbavanje vatrogasaca sa što boljim prikazom formiranja i transporta plamena i plamenih udara, zajedno s taktičkim ventiliranjem , koji su usporedni s potrebom napredovanja vatrogasne taktike, potrebno je uvježbavanje provoditi u višedjelnim prostorima koji omogućuju kompletan uvid u različite situacije požara.

Upotreba simulatora u kojima se kao gorivo upotrebljava LPG (ukapljeni naftni plin) nije u potpunosti prikladna za promatranje ponašanja vatre, ali pruža mogućnost uvježbavanja različitih taktičkih operacija.

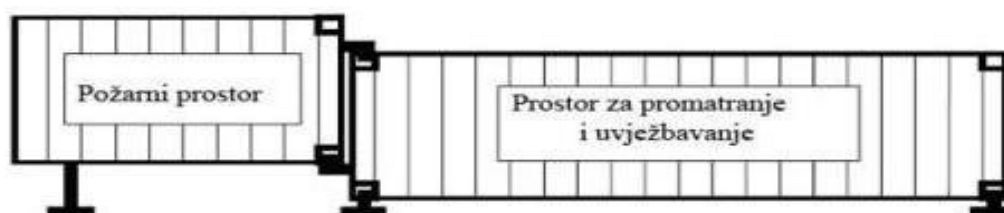
5.3. Simulator na kruta goriva



Slika 5.3 Simulator plamenih udara na kruta goriva Izvor: www.dvd-makarska.hr

Simulatori na kruta goriva su svi konstrukcijski slični. Klasičan su primjer švedskog modela korištenja brodskih kontejnera za izgradnju simulatora. Riječ je o jednom kontejneru za promatranje i o jednom kontejneru za požar, koji su spojeni na prednjim stranama. Ložište je postavljeno u kontejneru za požar i to 0,5 m više od kontejnera za promatranje.

Ložište završava jednokrnlnim vratima prema kontejneru za promatranje. Na kontejneru za promatranje na ulazu i izlazu postoje vrata koja se za vrijeme vježbe mogu otvarati i zatvarati bez opasnosti i s vanjske i s unutarnje strane. 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. Ventilacijski poklopac na ručno upravljanje, a služi kao odvod za dim i toplinu u prednjem dijelu krova prostora za promatranje (slika 12.).



Slika 5.4. Dijelovi simulatora na kruta goriva [6]

Priprema simulacije započinje paljenjem suhih drvenih paleta bez ikakvih premaza. Oko 10 četvornih metara drvene površine u pravilu je dovoljno. Upotreba bilo kakvih ubrzivača gorenja također je strogo zabranjena, a drvo se pali plinskim plamenikom. Nakon što je vatra upaljena, a vatrogasci su opremljeni svom potrebnom zaštitnom opremom, ulaze u simulator i sjedaju uz lijevu i desnu stranu simulatora.

Jedan instruktor stoji u prednjem dijelu prostora za promatranje i otvara i zatvara vrata ložišta te kontrolira ventilacijskim poklopcima i metalnim šarkama na kontejneru ulazak zraka u područje ložišta, prije nego što se steknu svi uvjeti za plameni udar. Drugi instruktor sjedi u prvom redu s desne strane te ima na raspolaganju jedan C mlaz sa odgovarajućom mlaznicom koji služi kao osiguranje.

Dvoje instruktora sjedi u stražnjem dijelu simulatora i kontrolira polaznike, dok se ostali instruktori nalaze u krugu vježbališta, spremni za cikličke izmjene s instruktorima koji se nalaze u simulatoru.

U takvom simulatoru polaznici uvježbavaju 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. [16]



SLIKA 5.4.1. FLASHOVER U SIMULATORU NA KRUTA GORIVA [6]

Kako bi se spriječilo ozljeđivanje vatrogasaca i nepotrebno oštećivanje osobne zaštitne opreme uslijed visokih temperatura vatrogasci se u simulatoru ciklički izmjenjuju nakon svakog flashovera na način da vatrogasac koji je najviše izložen toplini odlazi na mjesto koje je najmanje izloženo, a ostali se pomiču prema naprijed. O sigurnosnim aspektima brinu se instruktori pravilnom upotrebom, a i konstrukcijski elementi simulatora. Važno je napomenuti da se u simulatoru razvijaju temperature do 150°C pri dnu, kod glave vatrogasaca do 300°C, 650°C pri vrhu, te 1200°C u samom ložištu.[17] .

5.4. Usporedba simulatora

Iako postoje brojne razlike među simulatorima, osnovna razlika je gorivo koje se koristi. Plinski simulator koristi propan butan plin, čijim se pravilnim doziranjem u kontroliranim uvjetima, u zatvorenom prostoru stvaraju efekti slični kao kod plamenih udara. Simulatori na kruta goriva koriste nebojane drvene palete koje nakon što se zapale dovedu u stanje da nepotpuno izgaraju. Na taj način se u zatvorenom prostoru stvori velika količina dima koji je pun izrazito zapaljivih produkata nastalih pirolizom. Taj se dim i plinovi, koji su gotovo identični kao i kod pravih požara, zapale te čine plamene udare u kontroliranim uvjetima.[6]

5.5. Prednosti plinskog simulatora

- U slučaju potrebe vatra se može brzo ugasiti zatvaranjem dovoda goriva
- Ponavljanje simulacija može se izvesti relativno brzo jer nema potrebe za punjenjem goriva
- Javlja se manje količine dima koje ne oštećuju okoliš i sam simulator
- Otrovní produkti izgaranja su prisutni u manjim količinama nego kod simulatora na kruta goriva
- Zbog više požarišta, prostorija i načina ulaska nudi više taktičkih pristupa vježbi

5.6. Nedostaci plinskog simulatora

- Kvar uređaja za kontrolu i nadgledanje može dovesti do akumuliranja eksplozivne smjese zraka i plina
- Simulacija požara nije potpuno realistična zbog nedostatka dima iako se koristi uređaj za zadimnjavanje
- Produkti izgaranja su otrovni
- Plameni udari ne nastaju zapaljenjem produkata pirolize već nastaju paljenjem idealne smjese zraka i plina u kontroliranim uvjetima
- Inicijalni troškovi izgradnje ili nabavke ovakvih simulatora su veći zbog kompleksnosti upotrebe samog goriva te upravljanja i nadgledanja nad cijelim procesom uporabe
- Osjetljiv je na hladnoću zbog smrzavanja plinskih instalacija

5.7. Prednosti simulatora na kruta goriva

- Osigurava realistične uvjete požara (toplina, dim)
- Pruža pregled nad razvojem požara kroz faze, pa su vidljive sve karakteristike pojedine faze (toplina, svojstva vatre, svojstva dima)
- Pruža mogućnost aktivnog sudjelovanja u razvoju požara
- Gorivo je jednostavno za uporabu
- Gorivo je lako dostupno i relativno jeftino
- Inicijalni troškovi izrade simulatora su umjereni

5.8. Nedostaci simulatora na kruta goriva

- Vatra u ložištu se gasi tek kada nestane goriva ili je se ugasi
- Potreban je određeni fizički napor i vrijeme kako bi simulator ponovno napunio gorivom
- Produkti izgaranja su otrovni
- Osobna zaštitna oprema i ostala vatrogasna oprema nakon treninga u simulatoru zahtijeva dekontaminaciju (postoji mogućnost zadržavanja ugljičnog monoksida) i čišćenje kao i nakon pravih požara
- Ostaci goriva nakon izgaranja moraju se isprazniti i deponirati.

6. Zdravstveno stanje vatrogasaca tijekom provođenja obuke u simulatoru plamenih udara

Tijekom 2009. i 2010. godine napravljeno je istraživanje na vatrogascima iz javnih vatrogasnih postrojbi i dobrovoljnih vatrogasnih društava iz Republike Hrvatske koji su sudjelovali u obuci u simulatoru plamenih udara na vježbalištu JVP Ivanić Grad. Istraživanjem je procijenjeno opće zdravstveno stanje polaznika obuke te zdravstveni učinci fizičkog napora i toplinskog stresa nastalih tijekom obuke. U istraživanju je sudjelovalo ukupno 66 vatrogasaca. Obuka se odvijala u ekstremnim toplinskim uvjetima i uz dodatni fizički napor, a podrazumijevala je četiri boravka u simulatoru u trajanju od 20 do 30 minuta. Pri ovim vježbama vatrogasci su nosili zaštitnu opremu težine oko 30 kg, a temperatura na površini zaštitne odjeće kretala se do 160° C. [19]

Prilikom ispitivanja svim ispitanicima mjerena je tjelesna temperatura, krvni tlak, pokazatelji plućne funkcije, indeks tjelesne mase i stupanj oštećenja DNA. Mjerenja su pokazala visoku pretilost i povišene vrijednosti krvnog tlaka prije obuke. Dobrovoljni vatrogasci u odnosu na profesionalne vatrogasce imali su veći porast srčane frekvencije i temperature nakon odrađene obuke. Sistolički krvni tlak nije se značajnije mijenjao tijekom obuke u simulatoru, dijastolički krvni tlak blago se snizio, a pokazatelji plućne funkcije su blago porasli u obje grupe, što ukazuje da obuka u simulatoru dovodi do očekivanog fiziološkog odgovora kardiovaskularnog i dišnog sustava na fizički i termalni stres pa se može smatrati zdravstveno sigurnom za zdrave vatrogasce - uz obveznu uporabu zaštitne opreme. Visoka učestalost pretilosti i povišenih vrijednosti krvnog tlaka ukazuje na potrebu unaprjeđenja fizičke spremnosti vatrogasaca u Republici Hrvatskoj. Tijekom obuke vatrogasaca simulacija spomenutog fenomena događa se u kontroliranim uvjetima, smanjujući rizik po život, iako specifični fizikalni uvjeti ostaju isti. Profesionalni vatrogasci bili su u prosjeku 13 godina stariji od pripadnika dobrovoljnih vatrogasnih društava te su imali i duži radni staž. Zbog starije dobi, ispitivani profesionalni vatrogasci imali su značajno viši pušački indeks (broj godina pušenja podijeljen s prosječnim brojem popušanih cigareta dnevno) nego dobrovoljni vatrogasci, iako je udio pušača bio podjednak. .

Kao pokazatelji općeg zdravstvenog stanja mjereni su krvni tlak, tjelesna temperatura u zvukovodu, pokazatelji plućne funkcije spirometrijom te indeks tjelesne mase. Utvrdilo se da je 23% pretilih ispitanika kod profesionalnih vatrogasaca, a 39% kod dobrovoljnih vatrogasaca. Povišeni krvni tlak izmjeren je prije početka obuke u simulatoru u 50% profesionalnih i 61% dobrovoljnih vatrogasaca. Tijekom obuke u simulatoru utvrđen je porast tjelesne temperature od prosječno $1,1^{\circ}\text{C}$, a dobrovoljni vatrogasci su imali za $0,33^{\circ}\text{C}$ veći prosječni porast tjelesne temperature od profesionalnih vatrogasaca. Broj otkucaja srca porastao je prosječno za 30 u minuti, a u dobrovoljnih vatrogasaca bio je prosječno za 5 otkucaja u minuti veći nego u profesionalnih. Pokazatelji plućne funkcije porasli su tijekom obuke u simulatoru prosječno za 4%. Dodatno su mjerene razine primarnog i oksidativnog oštećenja DNK stanica periferne krvi, kao pokazatelja eventualnog genotoksičnog učinka fizičkog napora i toplinskog stresa tijekom obuke u simulatoru. Kod ispitanika nije utvrđen značajan porast primarnih oštećenja DNK, kao niti pojava oksidativnih oštećenja DNK u stanicama periferne krvi tijekom obuke u simulatoru. Rezultati ukazuju kako obuka u simulatoru dovodi uglavnom do blagog porasta tjelesne temperature i fiziološki očekivanog odgovora kardiovaskularnog i dišnog sustava na toplinski i fizički napor, što se odnosi na pripadnike obje ispitivane grupe vatrogasaca. Kod ispitanih vatrogasaca također nisu zabilježene patološke reakcije kardiovaskularnog i dišnog sustava, kao niti porast oštećenja DNK stanica periferne krvi tijekom obuke, pa se stoga obuku u simulatoru provedenu po opisanom protokolu može smatrati zdravstveno sigurnim trenažnim postupkom za zdrave vatrogasce, uz primjenu svih potrebnih mjera zaštite. Bolja adaptacija na toplinski i fizički stres uočena je kod pripadnika profesionalnih vatrogasnih postrojbi - kroz manji porast tjelesne temperature i pulsa, ukazujući na očekivano bolju fizičku pripremljenost profesionalnih vatrogasaca u odnosu na dobrovoljne vatrogasce. Učestalost povišenih vrijednosti krvnog tlaka bila je viša kod ispitanih vatrogasaca nego u općoj populaciji Republike Hrvatske, što je nepovoljno s obzirom na karakteristike zanimanja vatrogasca koje podrazumijevaju visoku razinu fizičke spremnosti i aktivnosti. Odgovor organizma na fizičke, toplinske, psihičke i ostale stresore prisutne na radnom mjestu vatrogasca prikladniji je u fizički utreniranih osoba, te je važnost fizičke pripremljenosti potrebno posebno istaknuti u prevenciji nastanka pretilosti,

smanjenju učestalosti povišenog krvnog tlaka, ali i poboljšanju psihičkih sposobnosti prosuđivanja u izrazito stresnim situacijama tijekom gašenja požara i spašavanja unesrećenih. Udio masnog tkiva u organizmu također je značajno povezan s podnošenjem uobičajenih fizičkih napora u uvjetima izloženosti visokim temperaturama i fizički zahtjevnim radnim zadaćama. Obuka gašenja požara u zatvorenom prostoru u simulatoru plamenih udara analizirana u ovom istraživanju može se smatrati zdravstveno sigurnom za zdrave vatrogasce jer niti kod jednog ispitanika tijekom obuke nije uočena hipertermija, ozljede ili drugi zdravstveni poremećaji koji bi predstavljali neposrednu ili dugoročnu opasnost po život i zdravlje. Provedeno istraživanje je odličan primjer suradnje znanstvenika i vatrogasaca na istraživanju koje do sada nije provedeno u RH (a vrlo rijetka su i u svijetu) i značajno doprinosi spoznajama o utjecaju ovakve vrste obuke, kao i takvih intervencija, na zdravlje vatrogasaca. [19]

7. ZAKLJUČAK

Iako se „vrući“ trening u simulatorima plamenih udara u svijetu odvija već 30-ak godina u Republici Hrvatskoj se sa realizacijom ovakve vrste obuke počelo prije 8 godina i to najviše zahvaljujući entuzijazmu i zanesenosti ovim poslom nekolicine samih vatrogasaca. Zahvaljujući njima obuka u simulatoru polako se širi i postaje dio praktične obuke vatrogasaca i u Republici Hrvatskoj. Na pitanje jeli je bolji plinski simulator ili onaj na kruta goriva, teško je odgovoriti. Oba simulatora dobro obavljaju svoju zadaću i vatrogascima u sigurnim uvjetima pružaju obuku koja je slična realnim uvjetima na požaru. Vatrogasci su nakon obuke puni dojmova i sa većim iskustvom, a takve rezultate bez simulatora je jednostavno nemoguće postići. S obzirom na način izgradnje i na svojstva samih goriva koja se koriste, plinski simulator i onaj na kruta goriva imaju različita svojstva i samim time prednosti i mane. Plinski simulator pruža daleko veće taktičke mogućnosti i povećava taktičku zahtjevnost vježbe unutarnje navale. Simulator na kruta goriva pruža realnije uvjete požara s obzirom na toplinu i dim te realniju interakciju u odnosu vatrogasac – požar.

8. LITERATURA

- [1] Grupa autora, Zaštita od požara, Zagreb: ZIRS, 2015.
- [2] S. Fišter, Širenje požara unutar građevine, Zagreb: Hrvatska vatrogasna zajednica, 1995.
- [3] Grupa autora, Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika, Zagreb: Hrvatska vatrogasna zajednica, 2006..
- [4] Hrvatska vatrogasna zajednica, »Vatrogasni vjesnik,« pp. 33-35, kolovoz 2020.
- [5] National Academy Press, „Fire & smoke – understanding the hazards“, Washington: National Academy Press, 1986.
- [6] G. E. Gorbett i R. Hopkins, »The Current Knowledge & Training Regarding Backdraft, Flashover, and Other Rapid Fire Progression Phenomena,« u *National Fire Protection Association*, Boston, 2007.
- [7] V. Karlović, Procesi gorenja i gašenja, Zagreb: Hrvatska vatrogasna zajednica, 2010.
- [8] Grupa autora, Flame & smoke: Understanding the hazards, Washington, D.C.: National Academy Press, 1986.
- [9] J. G. Quintiere, Review of "Fundamentals of Fire Phenomena, USA: John Wiley & Sons, 2006.
- [10] S. Purgar, Vatrogasna taktika, Zagreb: Vatrogasna škola, 2007.
- [11] D. Gojkovic, »Initial Backdraft Experiments,« Department of Fire Safety Engineering, Lund, 2000.
- [12] C. a. L. Government, Generic Risk Assessments 5.8: Flashover, Backdraft and Fire Gas Ignitions, London: TSO, 2009.
- [13] Z. Ivančić i S. Kirin, Izvori požarne opasnosti, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2010.
- [14] V. Dunn, »December Newsletter by Vincent Dunn: Backdraft and flashover, what is the difference?,«<https://vincentdunn.com/Archives/Newsletters/Backdraft%20vs.%20Flashover.pdf>. Pristupano 24 08 2020.
- [15] S. Jembrih i M. Rogina, »UPVH: Postupnik za obuku vatrogasaca u simulatorima plamenih udara,«http://www.flashover-hr.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1:dokumenti&Itemid=70#. Pristupano 24 08 2020.
- [16] Hrvatska vatrogasna zajednica, »Vatrogasni vijesnik,« pp. 32-34, listopad 2008.

- [17] P. H. Thomas, M. L. Bullen, J. G. Quintiere i B. J. McCaffrey, »Flashover and instabilities in fire behavior,« u *Combustion and Flame*, Amsterdam, Elsevier, 1980, p. 159–171.
- [18] Hrvatska vatrogasna zajednica, »Vatrogasni vjesnik,« pp. 17-19, siječanj 2020.
- [19] A. Ljubicic, B. Petrinc, V. Varnai i J. Macan, »Pokazatelji zdravstvenog stanja vatrogasaca,« <http://documents.tips/documents/ljubicic-a-petrinc-b-varnai-v-m-macan-j-pokazatelji-zdravstvenog-stanja-vatrogasaca.html>. Pristupano 24 08 2020.
- [20] vatrogasci-pljevlja.com/files/7982395297.pdf. Pristupano 14 rujan 2020.
- [21] <https://apps.usfa.fema.gov/firefighter-fatalities/fatalityData/incidentDataReport>. Pristupano 14 rujan 2020.
- [22] R. Howard, *Virtual reality*, Simon & Schuster, Michigan: Universit of Michigan, 1992.
- [23] »https://caehealthcare.com/surgical-simulation/neurovr/#block_4693,« Pristupano 31. kolovoz 2020.
- [24] M. Cha, J. Lee, B. Choi, H. Lee i S. and Han, »A datadriven visual simulation of fire phenomena,« SIGGRAPH '09 Posters, 2009.
- [25] J. Dugdale, B. Pavard, N. Pallamin i M. Jed, »Emergency fire incident training in a virtual world,« u *Proceedings of the 1st Conference on Information Systems*, 2004.
- [26] T. U. Julien i C. and Shaw, »Firefighter command training virtual environment,« u *Proceedings of the 2003 Conference on Diversity in Computing*, 2003.
- [27] E. R. Ericson, »Development of an immersive game-based virtual reality training program to teach fire safety skills to children,« u *Master's thesis of Iowa State University*, 2007.

9. Popis slika

Slika 2.1 Uvjeti gorenja	3
Slika 2.2 Krivulja razvoja temperature.....	4
Slika 2.3 Faze razvoja požara.....	5
Slika 3.1 Odnos temperature pri požaru zatvorenog prostor.....	9
Slika 3.1 Podjela plamenih udara	10
Slika 3.3 Prikazuje nekoliko mogućih scenarija razvoja požara u zatvorenom prostoru ...	11
Slika 3.2.. Povišenje temperature u prostoriji ovisno o temperaturi požarnih plinova	11
Slika 3.3. Primjer flashovera [6]	12
Slika 3.4. Prostorija nakon pojave flashovera [7].....	13
Slika 3.8. Težina opreme vatrogasca.....	18
Slika 5. Vanjski izgled simulatora [6].....	20
Slika 5.1. Prvi instruktori u Republici Hrvatskoj [6].....	22
Slika 5.1.1. Prvi simulator plamenih udara u RH (JVP Karlovac 2007. godine)[6].....	23
Slika 5.1.2. Raspored simulatora plamenih udara u RH	23
Slika 5.2. Fire Dragon III – plinski simulator [6]	25
Slika 5.2.1. Unutrašnjost simulatora Fire Dragon III [6].....	25
Slika 5.2.2. Ulaz u simulator Fire Dragon III [6].....	26
Slika 5.3 Simulator plamenih udara na kruta goriva.....	28
Slika 5.4. Dijelovi simulatora na kruta goriva [6].....	28
Slika 5.4.1 Flashover u simulatoru na kruta goriva	30