

# Simulatori plamenih udara

---

**Sabljak, Ozren**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*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:128:917554>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-19**



**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

Ozren Sabljak

# **SIMULATORI PLAMENIH UDARA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2016.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Ozren Sabljak

# **FIERY ATTACK SIMULATORS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2016.

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

Ozren Sabljak

# **SIMULATORI PLAMENIH UDARA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
Mr.sc. Snježana Kirin, viši predavač

Karlovac, 2016.

# ZAVRŠNI ZADATAK

I



**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 studij: Stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2016.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Ozren Sabljak

Naslov: Simulatori plamenih udara

Opis zadatka:

- opisati oblike plamenih udara
- opisati uvjete za nastanak plamenih udara
- analizirati razvoj simulatora plamenih udara u Republici Hrvatskoj
- opisati tehničke karakteristike simulatora plamena
- usporediti prednosti i mane simulatora na kruta goriva i simulatora na plin
- opisati 3D metodu gašenja požara
- analizirati utjecaj vježbanja u simulatorima na zdravstveno stanje vatrogasaca

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

10/2015.

2/2016.

2/2016.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Mr.sc. Snježana Kirin, viši predavač

Dr.sc. Zvonimir Matusinović

Nakon uspješnog završetka programa prekvalifikacije za zanimanje vatrogasni tehničar, kojeg sam završio 2008. godine u Vatrogasnoj školi Učilišta vatrogastva, zaštite i spašavanja Državne uprave za zaštitu i spašavanje te zapošljavanja u Javnoj vatrogasnoj postrojbi Plitvička Jezera pružila mi se prilika za nastavak obrazovanja u vatrogasnoj struci tj. studiranja na Veleučilištu u Karlovcu.

Studiranje je za mene bilo sasvim novo iskustvo, u svakom pogledu pozitivno, tijekom kojega sam stekao nova znanja koja ću primjenjivati u vatrogasnom poslu kojega obavljam.

Ovom prigodom zahvaljujem se obitelji koja me je podržavala i bila bezuvjetna potpora tokom studiranja na Veleučilištu u Karlovcu, poslodavcu tj. Općini Plitvička Jezera koja mi je omogućila studiranje uz posao u Javnoj vatrogasnoj postrojbi Plitvička Jezera, radnim kolegama u postrojbi koji su me podržavali i „pokrivali“ zbog čestog izostajanja sa posla tijekom studiranja, kolegama studentima na svestranoj pomoći tijekom studiranja.

Zahvaljujem se profesorima na nesebičnosti u prenošenju znanja i iskustva a posebno mentorici, Mr. sc. Snježani Kirin na pomoći i usmjeravanju u izradi ovoga Završnog rada.

Ovaj rad se bavi proučavanjem pojave plamenih udara, važnosti izvođenja vježbi u simulatorima plamenih udara u kojima vatrogasci mogu upoznati „neprijatelja“ oči u oči. Nekim vatrogascima je prisustvovanje ovim vježbama i prolazak kroz simulator plamenih udara ustvari i prvo iskustvo sa požarom u zatvorenom prostoru.

Svako gašenje požara je zahtjevan, odgovaran i opasan posao koji od vatrogasca iziskuje znanje, vještinu te psihičku stabilnost. To se posebno odnosi na požare u zatvorenim prostorima u kojima je moguća pojava neke od vrsta plamenih udara (flashovera, backdraft, rollover...). Tom prilikom svoje neiskustvo vatrogasci zatečeni plamenim udarom najčešće „plaćaju“ najvećom cijenom, svojim životom.

Iz navedenog je razvidno kako je osiguravanje uvjeta za vježbanje u simulatorima plamenih udara od životne važnosti za vatrogasce. U njima se, u uvjetima najbližim realnima, uči kako prepoznati predznake plamenih udara te kako ih spriječiti, prati razvoj požara i samog plamenog udara, uvježbava kretanje i snalaženje u prostoru zahvaćenim požarom, stječe iskustvo i pojačava osjećaj zajedništva, pripadanja timu i vjere u kolege.

Ključne riječi:

Plameni udar, vatrogasac, simulator, požar, flashover, backdraft, rollover.

## SUMMARY

This paper studies the phenomenon fiery impact, the importance of doing the exercises in simulators fiery attack in which firefighters can get to know the „enemy“ face to face. Some firefighters attending these exercises and go through simulator fiery attack actually first experience with fire indoors.

Each fire extinguishing is demanding, responsible and dangerous job which of a firefighter requires knowledge, skill and mental stability. This particularly applies to fires in enclosed spaces where there may be a certain kind of fiery impact (flashover, backdraft, rollover...). On this occasion, his inexperienced firefighter caught with fiery impact flame usually „pay“ the highest price, their lives.

The above shows that the provision of conditions for practicing in simulators fiery impact is vital for firefighters. In them, in terms of the closest real, is teaching how to recognize the signs of a fiery impact and how to prevent them, following the development of the fire and the fiery impact, trains movement and orientation in space affected by the fire, gains experience and increases the sense of belonging and faith in the team colleague.

Keywords:

Flames surge, fireman, simulator, fire, flashover, backdraft, rollover.



|   | Stranica |
|---|----------|
| ZAVRŠNI ZADATAK .....   | I        |
| PREDGOVOR .....   | II       |
| SAŽETAK .....   | III      |
| SADRŽAJ .....   | IV       |
| <br>  |          |
| 1. UVOD.....  | 1        |
| 1.1. Predmet i cilj rada .....  | 1        |
| 1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja .....                       | 2        |
| 2. PLAMENI UDARI .....  | 3        |
| 2.1. Flashover – plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora .....  | 3        |
| 2.2. Backdraft – plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora..... | 8        |
| 2.3. Ostali oblici plamenih udara.....                                | 11       |
| 2.4. Povratni plameni udar .....                                      | 11       |
| 2.5. Odgođeni plameni udar .....                                      | 11       |
| 2.6. Pritajeni plameni udar .....                                     | 12       |
| 2.7. Rollover ili flameover .....                                     | 12       |
| 3. PREDUVJETI PLAMENIH UDARA.....                                     | 13       |
| 3.1. Razvoj i širenje požara u zatvorenom prostoru.....               | 13       |
| 4. SIMULATORI PLAMENIH UDARA .....                                    | 16       |
| 4.1. Simulatori plamenih udara u Republici Hrvatskoj .....            | 18       |
| 4.2. Plinski simulator – Fire dragon III.....                         | 20       |
| 4.3. Simulator na kruta goriva.....                                   | 23       |
| 4.4. Usporedba simulatora.....  | 25       |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.    | 3D METODA GAŠENJA POŽARA I UTJECAJ VATROGASNE MLAZNICE<br>NA TERMODINAMIČKI EFEKT .....     | 27 |
| 5.1.  | Voda kao sredstvo za gašenje požara.....  | 27 |
| 5.2.  | Primjena trodimenzionalne 3D metode gašenja požara .....                                    | 28 |
| 5.3.  | Gašenje požara 3D metodom.....  | 31 |
| 5.4.  | Utjecaj mlaznice na termodinamički efekt.....   | 32 |
| 5.5.  | Veličine čestica (kapljica) vode.....   | 33 |
| 5.6.  | Patent mlaznice (univerzalne, kombinirane) .....  | 34 |
| 5.7.  | Taktička ventilacija.....   | 36 |
| 6.    | ZDRAVSTVENO STANJE VATROGASACA TIJEKOM PROVOĐENJA<br>OBUKE U SIMULATORU PLAMENIH UDARA..... | 44 |
| 7.    | EKSPERIMENTALNI DIO .....   | 47 |
| 7.1.  | Vježba u plinskom simulatoru – Fire dragon III.....   | 47 |
| 7.2.  | Vježba u simulatoru na kruta goriva.....  | 50 |
| 7.3.  | Sigurnosne mjere.....   | 53 |
| 8.    | RASPRAVA I ZAKLJUČAK.....   | 56 |
| 9.    | LITERATURA.....   | 57 |
| 10.   | PRILOZI.....  | 58 |
| 10.1. | Popis simbola (korištenih kratica) .....  | 58 |
| 10.2. | Popis slika .....   | 58 |

## **1. UVOD**

Poznato je da su poslovi koje obavljaju vatrogasci vrlo rizični. U svijetu se spoznalo da su velikom postotku stradalih vatrogasaca uzrok pogibije neka od vrsta plamenih udara. Kako bi se smanjilo stradanje vatrogasaca došlo se do ideja 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 takova uvježbavanja. Postoje i podaci o stradanjima vatrogasaca u ovim simulatorima, ali se daljnjim istraživanjima došlo do spoznaje da se u tim simulatorima nisu provodile mjere zaštite i nisu se osigurali sigurni uvjeti. Ovakvi treninzi su se uz pomoć vatrogasaca iz Švedske počeli provoditi i u nama susjednoj Sloveniji. Vatrogasci koji su prošli ovakav trening tvrde da se sada osjećaju sigurnije na intervencijama i da su više sigurni sami u sebe.

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 najbliže mogućim intervenciji, sa zaštitnom opremom koju koristi, sa kolegama sa kojim radi, sa mlaznicom koju koristi upoznati tog požarnog neprijatelja.

### **1.1. Predmet i cilj rada**

Cilj ovog završnog rada je analizirati uvjete u kojima nastaju plameni udari, njihove opasnosti te opisati i istaknuti značaj vježbe u simulatoru plamenih udara.

Zadaci koje treba ostvariti u tijeku izrade završnog rada su:

- opisati oblike plamenih udara
- opisati uvjete za nastanak plamenih udara
- analizirati razvoj simulatora plamenih udara u Republici Hrvatskoj
- opisati tehničke karakteristike simulatora plamena
- usporediti prednosti i mane simulatora na kruta goriva i simulatora na plin
- opisati 3D metodu gašenja požara
- analizirati utjecaj vježbanja u simulatorima na zdravstveno stanje vatrogasaca

## **1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja**

Metodološki pristup koji sam koristio u izradi ovog Završnog rada je empirijsko-induktivni koji se temelji na prikupljanju i izučavanju dostupnih činjenica, prikupljenih podataka i povezivanju prikupljenih podataka. Ovom metodom prikupio sam mnogo podataka koje sam koristio za analizu i obradu završnog rada. Isto tako kvalitativnom metodom dobio se empirijski odgovor na pitanje u vezi uvjeta u kojima nastaju plameni udari, njihove opasnosti, te značaj vježbe za vatrogasce u simulatoru plamenih udara. Dio podataka sam prikupio metodom intervjuiranja.

Prikupljanje potrebnih podataka sam vršio putem dostupne literature (knjige ili članci na internetu), razgovorom sa stručnjacima u ovom području (instruktori u simulatorima i zapovjednici JVP) kao i sa radnim kolegama u JVP Plitvička Jezera jer isti mogu govoriti iz iskustva (svi su prošli obuku u simulatoru na kruta goriva a neki i obuku u plinskom simulatoru).

## 2. PLAMENI UDARI

Kroz literaturu koja se bavi fenomenom pojave plamenih udara najčešće se opisuju sljedeće vrste: flashover-plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora, backdraft-plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora, povratni plameni udar, odgođeni plameni udar, pritajeni plameni udar i rollover ili flameover.[1]

### 2.1. Flashover – plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora

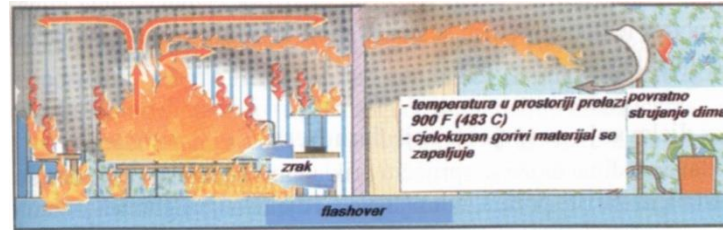
Izraz flashover prvi je opisao britanski znanstvenik P. H. Thomas šezdesetih godina prošlog stoljeća, a korišten je da opiše razvoj požara od početne faze do točke poslije koje požar postaje potpuno razvijen. Ova definicija opisuje da „faza razvoja požara kulminira flashoverom“. Ovakva teorija nije potpuno prikladna da bi u potpunosti opisala ovaj termin pa je i sam Thomas nakon nekoliko godina dodao da flashover ovisi o mnogo drugih faktora.[2]

Danas se flashover definira kao plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora, koji se događa na prijelazu između faze razvoja požara i njegove razbuktaleske faze i to tako da se pri stropu prostorije nakupljaju plinovi nastali pirolizom gorivog materijala, koji su zagrijani do temperature paljenja (slika 1.).



Slika 1. Povišenje temperature u prostoriji ovisno o temperaturi požarnih plinova [1]

Radijacijom (zračenjem) se ta toplinska energija plinova i dima prenosi na sav gorivi materijal u prostoriji te u trenutku kad se dostigne određena temperatura dolazi do gotovo istovremenog zapaljenja cjelokupnog gorivog materijala u prostoriji to jest flashovera (slika 2.).



Slika 2. Primjer flashovera [1]

Pod pojmom ventiliranog prostora podrazumijevamo prostoriju u kojoj su uslijed požara popucala prozorska stakla ili pregorjela vrata, što omogućava dotok svježeg zraka.[3]

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.[1]

Iako se uz pojavu flashovera ne može vezati neka precizna temperatura, ipak se područje između  $483^{\circ}\text{C}$  i  $649^{\circ}\text{C}$ , smatra kao temperaturno područje nastanka ove pojave. Navedeno temperaturno područje se direktno povezuje sa temperaturom paljenja ugljičnog monoksida (CO), koja iznosi  $609^{\circ}\text{C}$ , 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.). 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. Prostorija nakon pojave flashovera [1]

### Predznaci flashovera

U prirodnom tijeku požara razbuktavanje dima javlja se u ranoj fazi požara. Međutim očituje se 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 njenoj 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.

### **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.

### **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.

## **Gašenje**

Neposredno gašenje žarišta požara zasigurno je najbrža i najefikasnija metoda za sprječavanje flashovera. Za takvu je navalu važan pravilan protok vode na mlaznici. Protok vode na mlaznici od 100 l/min dostatan je za prostorije do 30 m<sup>2</sup>, 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 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 „šara“. Kut i širina mlaza ovise o veličini i dubini prostorije. U velikim dugim prostorijama izbacuje se uski raspršeni mlaz kojemu kut iznosi 30<sup>0</sup>, a u manjim, kratkim prostorijama široki raspršeni mlaz pod kutom od 45<sup>0</sup>.

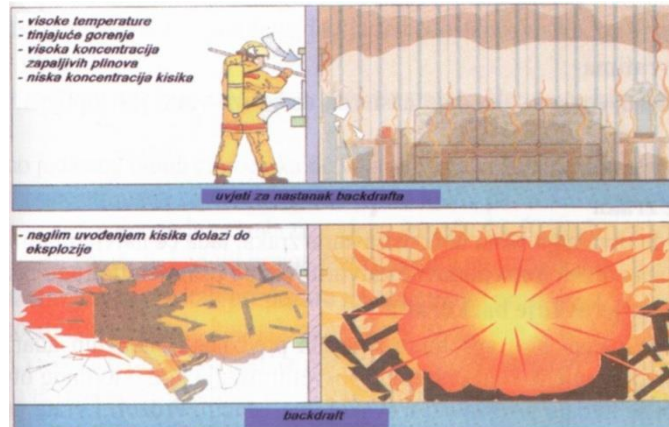
Stvaranje vodene pare i smanjenje volumena tako hlađenog dima kod pravilne primjene mlaza ne utječu na održavanje termičke ravnoteže. Nastala vodena para ne ugrožava navalnu grupu koja nakon hlađenja dima može početi s neposrednim gašenjem. Ovaj postupak, međutim, iziskuje intenzivnu izobrazbu kao i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

### **Zaštitna odjeća**

Opasnost da se navalna grupa zatekne u flashoveru nikad se u potpunosti ne može isključiti. To pogotovo vrijedi ako ista nije upoznata sa opasnostima ili ako nije zaštićena mlazom vode. U takvim je situacijama grupa prepuštena pasivnoj zaštiti koju im pruža zaštitno odijelo. No zaštitna odijela prema EN 469 ili odijela koja zadovoljavaju slične zahtjeve ne mogu u potpunosti zaštititi vatrogasca, a i vrijeme koje ostavljaju za povlačenje je samo 5-8 sekundi. Opekotine se ne mogu izbjeći no postoji šansa da vatrogasac preživi flashover zahvaljujući zaštitnom odijelu.

## **2.2. Backdraft – plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora**

Backdraft ili plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora nastaje u prostoriji u kojoj se požar ugasio uslijed nedostatka zraka jer nisu pregorjela vrata ili prozori. U njoj se nalaze upaljivi plinovi (produkti pirolize i produkti nepotpunog gorenja) u koncentraciji iznad gornje granice eksplozivnosti (GGE). Moguća su lokalna tinjanja, međutim ona uslijed nedostatka zraka ne mogu upaliti plinove. Otvaranjem tog prostora (npr. ulaskom vatrogasca) dolazi svježi zrak, smjesa ulazi u područje eksplozivnosti, i ako postoji izvor paljenja upali se i eksplodira (slika 4.).[4]



Slika 4. Nepropisna ventilacija pri gašenju požara može uzrokovati backdraft [1]

Praktički gledano, ukoliko se ne stvore uvjeti za flashover jer nema dovoljno zraka (prostorija je zatvorena), stvaraju se uvjeti za backdraft ukoliko se prostorija otvori. Požar se može i sam ugasiti ukoliko uopće ne dođe do otvaranja prostorije jer se s vremenom prostorija ohladi.

### **Predznaci backdrafta**

Opasnost od backdrafta prvenstveno postoji pri otvaranju prostorije, dakle na samom početku vatrogasne intervencije, dok je požar već u svojoj kasnijoj fazi. Ne postoji niti jedan apsolutno pouzdan predznak backdrafta. Opasnost od eksplozije i eksplozivnih smjesa može se isključiti tek onda kad je požar ugašen i sve prostorije prozračene. Ovdje posebno treba naglasiti važnost preventivnih mjera zaštite (slika 5.).[1]

Najvažniji predznaci backdrafta su:

- a) **trajanje požara** - ako postoji sumnja da je požar u zatvorenoj prostoriji otkriven jako kasno, postoji mogućnost za plameni udar.
- b) **dim** - prozori zatvoreni dimom i čađom, kao i dim koji na udare izlazi kroz prozore, daljnji su predznak plamenog udara.
- c) **kvake na vratima** - topla, odnosno vruća kvaka daje naslutiti da je iza vrata još toplije ili da je to bilo neposredno prije.

d) **usisavanje zraka**- ako se nakon otvaranja vrata uoči usisavanje zraka, tada će najvjerojatnije doći do plamenog udara. Stoga odmah treba ponovno zatvoriti vrata i primijeniti drugu taktiku.



*Slika 5. Backdraft stvoren u simulatoru plamenih udara [6]*

### **Taktika sprječavanja backdrafta**

Kao što postoji mali broj apsolutno sigurnih predznaka backdrafta, isto je tako malo sigurnih taktičkih mjera za sprječavanje istog. Preventivne mjere zaštite odnosno pravila ponašanja kod otvaranja vrata i prozora, trebale bi biti sastavni dio izobrazbe i trebalo bi ih se pridržavati u svakoj intervenciji. Prozori i vrata moraju se otvarati iz zaklona, tj. sa strane i po mogućnosti uz zaštitu pripravnog mlaza vode.

Ako se pri otvaranju vrata ugleda usisavanje zraka u prostoriju, vrata se moraju ponovno zatvoriti ili usmjeriti raspršeni mlaz na dim i tako vodenom parom spriječiti plameni udar. Ako se pak opravdano sumnja na plameni udar, tada ga možemo usmjeriti u željenom smjeru. Budući da udarni val i vatrena fronta idu prema nastalom otvoru, moguće je, prije ulaska grupe u prostoriju, otvoriti prozor.

Ako dođe do plamenog udara, tada se on „prazni“ kroz nastali otvor i ne ugrožava navalnu grupu koja se nalazi u unutarnjoj navali. Ovdje je također jako važna zaštitna odjeća upravo zbog nepredvidljivosti plamenog udara. Ona doduše ne smanjuje povrede od udarnog vala, ali barem može ublažiti opekotine.

Iz prethodnog je razvidno da je backdraft moguće predvidjeti pravilno tumačeći znakove koje dobivamo od požara. Na taj način mogu se pravovremeno poduzeti mjere koje će smanjiti opasnost od plamenog udara odnosno odvesti ga u smjeru koji neće ugroziti navalnu grupu. Jasno je da ne treba srljati u prostoriju jer se nesmotrenim ulaskom mogu previdjeti neki predznaci, a već u sljedećem trenutku to može rezultirati eksplozijom koja će odnijeti živote vatrogasaca.

Svakako treba pažljivo postupati i sačekati nekoliko trenutaka ispred prostorije, razmijeniti informacije sa ostatkom odjeljenja koje se nalazi izvan zgrade, zaštititi se raspršenim mlazom, pa tek onda krenuti u pretraživanje zadimljenog prostora.

### **2.3. Ostali oblici plamenih udara**

Ovo su oblici plamenih udara koji se u praksi često zamijene sa flashoverom ili backdraftom. Dosta su slični, a neki kao što su odgođeni backdraft ili pritajeni backdraft i jesu plameni udar (backdraft) samo što je odgođen, odnosno ne događa se odmah kada vatrogasac uđe u prostoriju.

### **2.4. 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.[5]

### **2.5. Odgođeni 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. Suvišno je napominjati što će se dogoditi sa vatrogascem koji se nađe u središtu eksplozije.

## 2.6. Pritajeni plameni udar

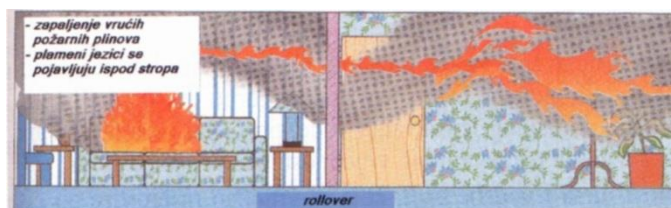
Ako su se eksplozivne smjese nakupile u drugim prostorijama ili u nekim predmetima kao što su predsoblja, sporedne sobe, odloženi pokrivači, tada će uslijed približavanja izvora paljenja (npr. iskre) također doći do eksplozije.[5]

## 2.7. Rollover ili flameover

U stručnoj literaturi, ovi pojmovi opisuju pojavu kada se plamen kreće i putuje kroz sloj vrućih požarnih plinova koji izlazi iz prostorije. Upoznati smo s činjenicom da se vrući zrak (dim) kreće pri stropu prostorije pa rollover izgleda kao da se plamen valja po stropu.

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 (slika 6.).



Slika 6. Rollover [1]

### **3. PREDUVJETI PLAMENIH UDARA**

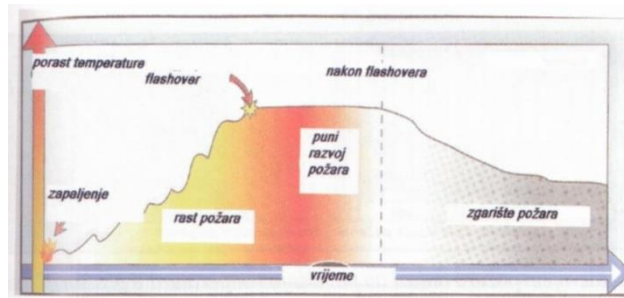
U zatvorenom prostoru mogu se tijekom požara stvoriti uvjeti eksplozivnog gorenja, pri čemu se takve pojave nazivaju plamenim udarima. Plameni udari su rezultat procesa gorenja i nekih preduvjeta kao što su loša ili dobra prozračnost, količina gorive tvari, odnosno vremena od početka požara. Tijekom zagrijavanja gorive tvari oslobađaju se primarni produkti sagorijevanja, zapaljivi plinovi koji u dodiru s plamenom oksidiraju u sekundarne reakcijske produkte koji najčešće više nisu zapaljivi. Primarni se produkti izgaranja još zovu pirolitički produkti.[4]

Ti su plinovi, ovisno o tvari, zapaljivi i mogu, ako ne izgore na mjestu nastanka stvarati eksplozivne smjese (drvo u pirolizi oslobađa razne vrste plinova kao npr. metan, vodik i druge ugljikovodike). Velike količine svježeg zraka ohladit će produkte izgaranja, prvenstveno ugljični dioksid i vodenu paru. Nastupa lagano, difuzno zadimljavanje prostorije. U ovoj fazi požara vatrogasci još nisu ugroženi razbuktavanjem dima ili plamenim udarom. No daljnjim razvojem požara nastat će preduvjeti za neki od plamenih udara, ovisno o ventilaciji prostorije. Gorenjem bez prisustva kisika, odnosno uz premali dotok kisika nastaju plinovi suhe destilacije koji prvenstveno sadrže ugljični monoksid (CO). Ovi plinovi mogu stvoriti eksplozivnu smjesu, a ugljični monoksid je i otrovan plin, što naravno predstavlja veliku opasnost za vatrogasce.

#### **3.1. Razvoj i širenje požara u zatvorenom prostoru**

Za bolje razumijevanje materije bitno je opisati razvoj i širenje požara u zatvorenom prostoru. Taj proces je puno složeniji od procesa razvoja požara na otvorenom prostoru. Na požar unutar građevine ili u požarnom sektoru glavni utjecaj imaju količina gorivog materijala u tom prostoru i količina kisika koji pritječe u prostor. Kada je količina gorivog materijala ograničena, kaže se da je požar kontroliran gorivom, a kada je količina kisika koji pritječe u prostor ograničen, govori se o požaru koji je kontroliran ventilacijom.

Prilikom nastanka, razvoja i širenja požara u zatvorenom prostoru postoji nekoliko njegovih faza. To su početna faza (zapaljenje) požara, faza razvoja (rast) požara, razbuktala (faza punog razvoja) faza požara i faza gašenja požara (slika 7.).



Slika 7. Faze razvoja požara u zatvorenom prostoru [1]

Početna faza požara odnosi se na vrijeme zapaljenja gorive tvari uz prisutnost sva četiri čimbenika iz tetraedra gorenja (goriva tvar + kisik + temperatura + kemijske lančane reakcije gorenja). Način zapaljenja može biti izazvan vanjskim čimbenikom (iskra ili plamen), ili samopaljenjem (kada se goriva tvar zagrije do temperature samopaljenja). U ovoj fazi požar je slabog intenziteta (sporo širenje vatre) i ograničen je na gorivi materijal u kojem je i došlo do zapaljenja te ga je najlakše ugasiti.

Faza razvoja požara nastaje nedugo nakon zapaljenja tako da se iznad gorivog materijala formira sloj vrućih požarnih plinova. Vremensko trajanje ove faze ovisi o prirodi tvari koja gori. Povećavanje količine vrućih požarnih plinova uzrokuje i „uvlačenje“ zraka u taj sloj plinova. Zagrijani plinovi se dižu u vis, slično kao i kod požara otvorenog prostora, međutim vrlo brzo njihovo kretanje postaje ograničeno zidovima i stropom unutar građevine. Uslijed toga zagrijani plinovi se ravnomjerno šire dok ne ispune prostor ograđen pregradnim zidovima te se počinju spuštati prema podu, to jest žarištu požara. Faza razvoja požara traje sve dok postoje nove količine gorivog materijala koje požar može zahvatiti i dok pritječe dovoljna količina zraka (kisika) da podržava gorenje. Požari zatvorenog prostora su u fazi razvoja požara uglavnom požari kontrolirani gorivom. Kako se požar razvija, tako temperatura u prostoriji raste ujednačeno sa porastom temperature vrućih požarnih plinova uz sam strop prostorije. Na prijelazu iz faze razvoja u razbuktalu fazu požara može se dogoditi plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora (flashover).

Razbuktala faza požara nastupa kada je cjelokupni zapaljivi materijal unutar nekog zatvorenog prostora zahvaćen požarom. Za trajanja ove faze požara cjelokupni gorivi materijal oslobađa maksimalne količine toplinske energije uz nastajanje



velikih količina zapaljivih plinova. One ovise o veličini i broju ventilacijskih otvora samoga prostora zahvaćenog požarom. Požar je u ovoj fazi često kontroliran ventilacijom, kada veći dio zapaljivih plinova uopće ne sudjeluje u gorenju, već se ispusti u atmosferu. Međutim postoji mogućnost da zagrijani i zapaljivi plinovi prijeđu iz požarom zahvaćenog prostora u susjednu prostoriju ili prostor, gdje se u doticaju sa većom količinom zraka (kisika), trenutno zapale. U ovoj fazi požar je teško ugaziti.[1]

Faza gašenja požara nastaje kada, nakon nekog vremena količina toplinske energije koja se oslobađa gorenjem počinje opadati (goriva masa je izgorila). Požar je tada kontroliran gorivom, vatra se postepeno gasi a temperatura u prostoru počinje opadati. Ipak zbog preostalog tinjajućeg žara još neko vrijeme temperature u prostoriji su prilično visoke. Nastalo zgarište potrebno je detaljno pregledati.

## 4. SIMULATORI PLAMENIH UDARA

Treniranje unutarnje navale za operacije gašenja danas je važnije nego ikada. Suvremeni vatrogasci trebaju imati teoretsko 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 takovom 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 koje proizlaze iz backdrafta i flashovera i ostalih oblika brzog širenja vatre. Nadovezavši se 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 zemljama poput Švedske, Velike Britanije i Australije ovaj program je uvelike smanjio pogibije vatrogasaca i teške opekline kojima su uzrok različiti plameni udari (slika 8.).



*Slika 8. 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 ali 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 kao što su 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.

#### 4.1. 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 Zapovjednik JVP Zagreb-Centar i Maria Rogine, danas Zapovjednik smjene u JVP Grada Varaždina. 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 te 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 9.).



*Slika 9. Prvi instruktori u Republici Hrvatskoj [6]*

Simulator u kojem je izvedena prva vježba bio je simulator klase A odnosno na kruta goriva a izrađen je i certificiran prema europskoj normi DIN 14 097/1-4 (slika 10.).



*Slika 10. Prvi simulator plamenih udara u RH (JVP Karlovac 2007. godine)[6]*

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 u istoj steknu pravo na vježbanje u simulatoru. Nakon ova dva simulatora, tijekom sljedećih godina organizirana je obuka u simulatorima plamenih udara u sljedećim mjestima: Klana kod Rijeke, Split, Osijek (Našice), Makarska, Dubrovnik, Slatina i Varaždin (slika 11.).



*Slika 11. Raspored simulatora plamenih udara u RH*

Od prve vježbe u simulatoru plamenih udara održane 2007. godine do posljednje vježbe održane u 2015. godini, u istima 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 sa 40 035 dobrovoljnih vatrogasaca. Iz predočenih 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.

#### 4.2. Plinski simulator – Fire dragon III

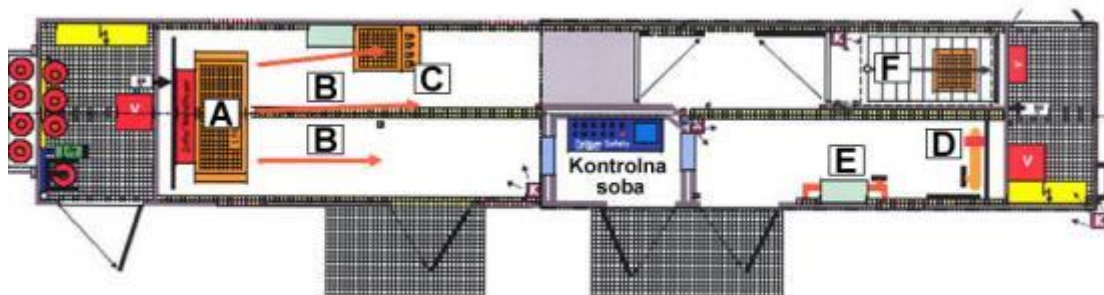
Dräger Safety AG & Co. KGaA Fire Dragon III pokretno vježbalište plamenih udara namjenski je dizajniran objekt na kotačima kojeg po potrebi može vući teretno vozilo. Simulator kao energent koristi plin propan u optimalnim količinama u odnosu na geometrijske parametre prostorija i time pruža siguran ambijent 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 12.).[6]



Slika 12. Fire Dragon III – plinski simulator [6]

Simulator požara sastoji se od nekoliko požarišta:

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



Slika 13. Unutrašnjost simulatora Fire Dragon III [6]

Simulator (slika 13.) 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-vožno 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.

Dvoje instruktora se cijelo vrijeme nalazi u simulatoru sa polaznicima, dvoje instruktora nalazi se u kontrolnoj sobi a ostali instruktori se nalaze u krugu vježbališta.

U simulatoru postoje dvojna vrata za ulaz plus ulaz sa krova tako da se u kombinaciji 6 požarišta može izvesti velik broj različitih taktičkih vježbi (slika 14.).



*Slika 14. 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 te 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 sa taktičkim



ventiliranjem koji su usporedni s potrebom napredovanje 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 prikladan za promatranje ponašanja vatre, ali pruža mogućnost uvježbavanja različitih taktičkih operacija.

### 4.3. Simulator na kruta goriva

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 jednokrilnim vratima prema kontejneru za promatranje. Na kontejneru za promatranje na ulaz i izlaz 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 koji služi kao odvod za dim i toplinu u prednjem dijelu krova prostora za promatranje (slika 15.).



Slika 15. 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 stjenku 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 zadnjem dijelu simulatora i kontrolira polaznike a ostali instruktori se nalaze u krugu vježbališta spremni za cikličke izmjene sa instruktorima koji se nalaze u simulatoru.

Kroz nekoliko ciklusa paljenja simulatora polaznici obavljaju različite vježbe. 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 (slika 16.).



*Slika 16. 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 zahtjevi simulatora.

Na obuci se temperatura na dnu kontejnera penje do 150° C, do 300° C kod glave vatrogasaca, 650° C na vrhu i 1200° C u ložištu.

#### **4.4. Usporedba simulatora**

Iako postoje brojne razlike među simulatorima, osnovna razlika je gorivo koje se koristi. Plinski simulator koristi propan butan plin te se njegovim 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]

##### **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
- Javljuju se manje količine dima koje ne oštećuju okoliš i sam simulator
- Otrovnii 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

##### **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 sustavom
- Osjetljiv je na hladnoću zbog smrzavanja plinskih instalacija

### **Prednosti simulatora na kruta goriva**

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

### **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.

## **5. 3D METODA GAŠENJA POŽARA I UTJECAJ VATROGASNE MLAZNICE NA TERMODINAMIČKI EFEKT**

U ovom dijelu završnog rada opisana je 3D metoda gašenja požara te materija koja je potrebna da bi se moglo razumjeti na koji način se koristi navedena metoda u gašenju požara zatvorenog prostora i to posebno s osvrtom na tehnike koje se zasnivaju na hlađenju požarnih plinova. Navedena metoda poznata je još i kao metoda hlađenja plinova ili ofenzivna metoda. U prošlosti je za vatrogasce bilo uobičajeno usmjeriti svoj početni napad, strategiju prema vidljivoj gorivoj fazi požara, dok su se zanemarivale skrivene opasnosti izloženosti požaru u plinovitim fazama. To je temeljna pogreška koja je u nekoliko navrata uzela živote vatrogasaca. Kao što je ranije naglašeno osobita opasnost vatrogascima prijete u zatvorenim prostorima od neizgorenih produkata pirolize kada se kruta goriva, poput drva i plastike, podvrgnuta pirolizi, raspadaju u zapaljivu gorivu plinsku fazu. Može se zaključiti da je gašenje požara složen proces čije nepoznavanje može dovesti do uzimanja onog najdragocjenijeg, ljudskog života.

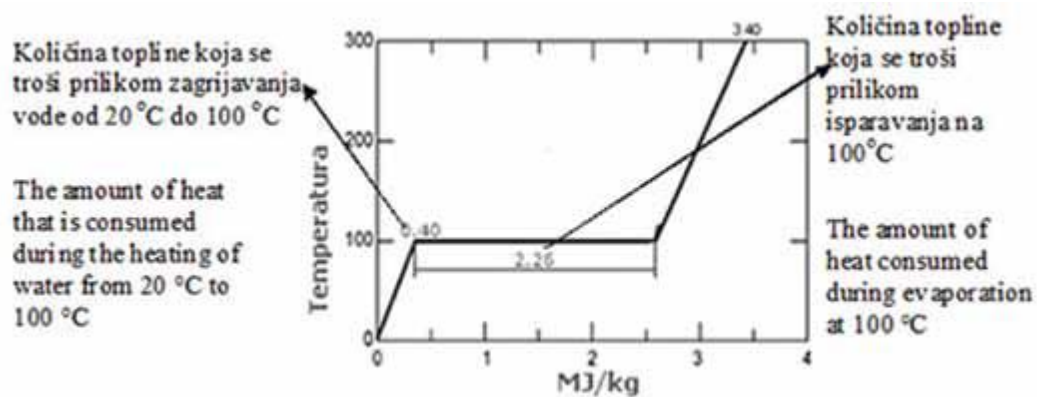
3D metoda gašenja požara je protupožarni koncept koji se temelji na integraciji znanstvenih istraživanja i najbolje vatrogasne prakse iz cijelog svijeta. 3D metoda i taktika gašenja požara temelji se na razumijevanju ponašanja požara i pristupa kontroli opasnosti od požara u prostoru pri čemu je nužno poznavati osnove termodinamike požara, vatrogasnu tehniku i učinke sredstava za gašenje.

### **5.1. Voda kao sredstvo za gašenje požara**

3D metoda gašenja požara zasniva se na vodi kao sredstvu za gašenje, stoga je potrebno spomenuti i navesti glavna svojstva koja bitno utječu na termodinamički efekt. Glavni učinak gašenja vodom je ohlađivanje, a podučinak gašenja vodenom parom je kada dođe do pretvaranja kapljevite faze vode u njenu parnu fazu, tj. vodenu paru (koja izolira gorivu tvar od zraka, što znači da djeluje ugušujuć). Ne postoji druga tekućina koja je na tako izuzetan način prikladna da se primijeni kao ohlađujuće vatrogasno sredstvo.

Voda je izvrsno sredstvo za gašenje jer ima visoku specifičnu toplinu (energiju potrebnu za podizanje njezine temperature) i visoku latentnu toplinu isparavanja

(energija koja je potrebna kako bi se promijenilo stanje vode iz tekućeg u plinovito). Pretvaranje vode u paru je najznačajnije jer upija 5,5 puta više energije nego za grijanje vode od 20° C do svoje točke vrelišta (slika 17.).[7]



Slika 17. Potrošnja topline prilikom zagrijavanja vode [8]

## 5.2. Primjena trodimenzionalne 3D metode gašenja požara

Primjena 3D metode, poznata još i pod nazivima trodimenzionalna 3D, vodena magla ili ofenzivna metoda, tijekom obuzdavanja plinske faze u strukturnim požarima je suvremena i inovativna. Treba naglasiti da se ova metoda u osnovi koristi, ne samo za gašenje požara, već za stvaranje sigurnog pristupa žarištu požara i smanjenju mogućnosti pojave flashovera, backdrafta ili eksplozije požarnih plinova. Ova tehnika nije osmišljena kao zamjena za izravnu metodu navale već kao njihova dopuna u nastojanjima da se poveća sigurnost i učinkovitost vatrogasaca.

Primjenjujući 3D metodu gašenja požara vatrogasci usmjeravaju vodenu maglu izravno u vruće požarne plinove. Kratkim i naglim otvaranjem slavine na mlaznici plasira se najmanja količina vode u zonu nadtlaka u požarnim plinovima. Sitne kapljice će ishlapiti u vrućim požarnim plinovima, ohladit će ih na temperaturu nižu od njihove temperature paljenja i razrijedit će njihovu zapaljivu smjesu.

Ovaj ohlađujući učinak rezultirat će sažimanjem požarnih plinova, većim od ekspanzije vode u paru, pri čemu će se požarni plinovi zgusnuti te udaljiti od vatrogasaca koji koriste taj mlaz. To stvara negativan tlak unutar požarnog sektora i vatrogasci nisu izloženi vrelini pare, a k tome povećana je mogućnost preživljavanja mogućih žrtava požara.

Ovaj učinak postiže se korištenjem određenih vrsta mlazova i odabirom najboljih kutova djelovanja, te pravilnog promjera mlaznice čime kapljice vode neće biti veće od 0,3 mm u promjeru.



Slika 18. Odnos veličine kapljica vode i volumena stvaranja vodene pare [7]

Na slici 18. može se vidjeti odnos kapljica vode i volumena stvaranja vodene pare. Ako su kapljice vode presitne (jako male čestice vode ispod 0,2 mm) mogu početi isparavati čim napuste mlaznicu (na slici lijevo), na 200-300<sup>0</sup> C. To može biti posebno neugodno vatrogascu na mlaznici. Međutim, kapljice vode u idealnom rasponu 0,2 – 0,4 mm (na slici u sredini) će prodrijeti dublje prije isparavanja, oko jedan i pol metar od poda. Voda izbačena iz mlaznice u punom mlazu imat će veću brzinu, te je manje vode u mogućnosti da ispari na nižim razinama u prostoru. To znači da je gotovo sva voda iz punog mlaza dosegula do stropa i isparava u području od 600-800<sup>0</sup> C, jer se rasprši u manje čestice tek kod udaranja u strop prostorije. Učinak takvog djelovanja je stvaranje prekomjernog volumena pare (omjer vodene pare višestruko povećan zbog visoke temperature) iznad samog stropa na visokim temperaturama, što dovodi do toplinske neravnoteže.

Velika količina vodene pare može prouzrokovati porast tlaka u požarnom prostoru, što za posljedicu može imati povećanje ventiliranosti požara (probijanje prozora, otvora i sl.). U raznim vatrogasnim literaturama može se pronaći podatak da 1 litra vode prilikom isparavanja na 100<sup>0</sup> C proizvodi 1700 litara ili 1,7 m<sup>3</sup> vodene pare. Međutim, u požarnom prostoru prosječna temperatura s kojom se vatrogasci susreću nije 100<sup>0</sup> C već se kreće od 300<sup>0</sup> C do 600<sup>0</sup> C, stoga je neophodno izložiti i prezentirati kapacitet isparavanja vode u takvim uvjetima (slika 19.).



| Temp °C | VOLUMEN VODENE PARE |
|---------|---------------------|
| 100     | 1600                |
| 200     | 2060                |
| 300     | 2520                |
| 400     | 2980                |
| 500     | 3440                |
| 600     | 3900                |
| 800     | 4900                |

*Slika 19. Omjer vodene pare u odnosu na vodu na različitim temperaturam [7]*

Prema navedenim podacima može se zaključiti da je jako bitna količina vode s kojom će se gasiti požar. Ukoliko ubacimo veliku količinu vode, tada ćemo dobiti i veliku količinu vodene pare koja može poremetiti požarnu ravnotežu i značajno ugroziti vatrogasca. Zaštitna odjeća koju koriste vatrogasci ima određenu otpornost na izloženost toplini, ali malu otpornost na izloženost vodenoj pari. Česti su slučajevi da prilikom akcija gašenja požara dolazi do opekotina od vodene pare, a to je posljedica prekomjernog korištenja vode prilikom gašenja. Ako s jedne strane znamo da u požarni prostor ne smijemo ubaciti mnogo vode zbog pojave velike količine vodene pare, a s druge da moramo ubaciti dovoljnu količinu vode koja će preuzeti energiju požara, postavlja se pitanje postoji li način da se to napravi. Naravno to je moguće, ali samo ukoliko se pravilno provodi 3D tehnika gašenja za što je potrebna tehnička i taktička osnova.

U usporedbi s tradicionalnim punim ili usko raspršenim mlazom pravilno korištenje vode 3D metodom gašenja požara može imati bolji ohlađujući učinak jer stvara manje pare i dovodi do manjeg prekida toplinske ravnoteže u sloju vrućih požarnih plinova, pomoću kratkih impulsa mlaza u širokom kutu sa sitnim kapljicama.

Utjecaj vode za ohlađivanje plinova povezan je sa svojstvima mlaznice (npr. veličina kapljica, protoka, tlaka, kut raspršivanja mlaza) i taktike nabacivanja (npr. kut izbacivanja mlaza iz mlaznice, trajanje impulsa nabacivanja). Bilo kakve promjene u kutu raspršenosti mlaza, veličini kapljica, izlaznog tlaka, protoka i trajanja impulsa (nabacivanja), kada se koristi 3D metoda za gašenje vodenom maglom, rezultirat će različitim ohlađujućim učincima i proizvodnji vodene pare.



### **5.3. Gašenje požara 3D metodom**

Mnogi koji su čuli za metodu gašenja požara trodimenzionalnom 3D vodenom maglom, misle na korištenje kratkih impulsa vodene magle za kontrolu opasnosti od sloja vrućeg požarnog plina. Međutim, to je samo jedna tehnika gašenja požara trodimenzionalnom 3D metodom. U osnovi se koriste tri različite „pulsirajuće” tehnike: kratki impuls propuštanja vode, dugi impuls propuštanja vode i tehnika polijevanje (direktan napad).

#### **Kratki impuls propuštanja vode**

Srednje do široko raspršen mlaz vode treba potpuno otvoriti i potom zatvoriti, radnja mora biti izvedena energično. Mlaz mora biti usmjeren izravno prema požarnim plinovima i nadtlaku koji tamo vlada. Učinak je hlađenje i razrjeđivanje zapaljivih požarnih plinova čime se sprječava dostizanje temperature njihovog samozapaljenja. Kratki impuls se koristi toliko dugo dok postoje vrući požarni plinovi nad (ili oko) navalne grupe. Koristi se i za razrjeđivanje i hlađenje plinova kad postoji rizik od pojava eksplozije požarnih plinova.

#### **Dugi impuls**

Srednje raspršen mlaz pri tome koristiti duži impuls mlaza vode, u ovisnosti o potrebnom prodiranju mlaza u požar. Usmjeren je direktno u nadtlak kod zapaljenog požara plinova. Učinak se očituje u ohlađivanju i smanjenju gorućeg izgaranja, omogućujući na taj način vatrogascima da dublje prodru u prostor. Trajanje dugih impulsa trebalo bi biti između 1 - 5 sekundi, u ovisnosti o okolnostima u kojima se nalazi navalna grupa (slika 20.).



*Slika 20. Postava mlaza kod kratkog i dugog impulsa propuštanja vode [7]*

### **Polijevanje**

Puni mlaz vode na mlaznici, pulsirajući potok te teške kapljice u luku nabacivati na gorući materijal te usmjeriti izravno na sve zapaljive tvari i materijale (izravna navala). Učinak je ohlađivanje gorive građe i tvari, sprječava razgradnju koja uzrokuje nastanak požarnih plinova (pirolizu). Gasi gorivi materijal bez razbacivanja zapaljenih čestica, diskretnim korištenjem mlaza izbjegava se prekomjeran nastanak pare i šteta nastala korištenjem velikih količina vode (slika 21.).



*Slika 21. Postava mlaza kod „pulsirajuće” tehnike polijevanjem [7]*

### **5.4. Utjecaj mlaznice na termodinamički efekt**

Površina kontakta vode s materijom koji se hladi je izuzetno značajan u određivanju brzine prijenosa topline. Veća površina u odnosu na količinu vode će rezultirati bržim prijenosom topline i bržim hlađenjem.

Ako količina vode ostaje ista, a smanjuje se veličina kapljica, bitno se povećava površina. Na primjer, ako se veličina kapljica smanjuje za polovinu, površina kontakta s materijom koju je potrebno ohladiti se povećava za četiri puta.

Povećana površina povećava prijenos topline, prolaskom kroz sloj vrućih požarnih plinova, ubrzano smanjuje temperaturu. Međutim, nedostatak manjih kapljica je u tome što one ne mogu prodrijeti na velike udaljenost u iznimno vrućem prostoru.

### 5.5. Veličine čestica (kapljica) vode

Mlaznice ne proizvode jedinstvene veličine kapljica vode. Međutim, prosječna veličina kapljica i postotak kapljica koje su 0,3 mm u promjeru ovisi o dizajnu mlaznice i tlaku. No, za svaki dizajn mlaznice, povećanjem tlaka na sapnici rezultirat će manjim kapljicama. Izvedeno je niz ispitivanja u svezi s veličinom čestica (kapljica) vode u odnosu na tlak (ispitivanje izvedeno sa tlakom od 3,5 bara i 7 bara). Rezultat ovog ispitivanja bile su snimke na kojima je vidljivo da je povećanje tlaka prouzrokovalo smanjenje čestica vode (manje kapljice ostati će duže vrijeme u zraku, a velike kapljice padaju brže na tlo) (slika 22.).



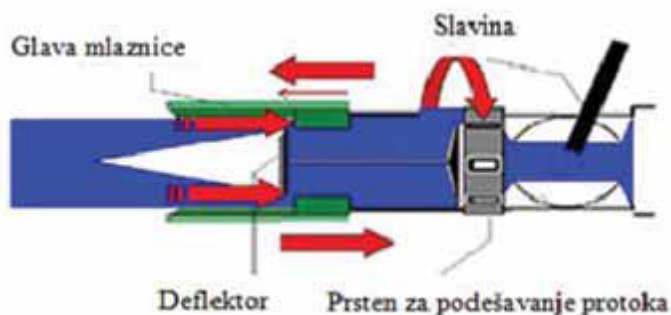
Slika 22. Odnos tlaka na mlaznici na promjer kapljica mlaza [7]

Mlaznice za rad na nižem tlaku imat će veći volumen (veličinu) kapljica. To ne utječe znatno na izravan (direktan) napad, ali mogu imati značajan utjecaj na djelotvornost i učinkovitost tih mlaznica kada se koriste za hlađenje plina. To ne znači da se ne mogu koristiti, nego će biti manje učinkovite (rezultat je manje učinkovito isparavanja vode - više vode će završiti na podu).

Iako je važno razumjeti osnovne stvari koje se odnose na dizajn mlaznice i performanse, još je važno (ako ne i važnije) razumjeti utjecaj tih pojmova na vatrogasnim intervencijama (gašenju požara).

## 5.6. Patent mlaznice (univerzalne, kombinirane)

Patent mlaznica je poboljšana u odnosu na obične konvencionalne mlaznice s fiksnim usnacom sa svih aspekata, uključujući gašenje požara vodom, poput mogućnosti reguliranja protoka vode, radnih tlakova, odabira vrste mlaza (puni, usko raspršeni, široko raspršeni, veličini kapljica itd.). Patent mlaznica razbija mlaz vode u male kapljice koje imaju mnogo veću ukupnu površinu prekrivanja vodom od obične mlaznice. Dakle, s obzirom na količinu vode u obliku magle, apsorbirat će mnogo više topline nego u istom volumenu vode u običnoj mlaznici zbog veće površine izložene području. Što je veća apsorpcija topline iz mlaza vode, manje vode treba primijeniti za uklanjanje iste količine topline iz požara. To je rezultiralo većom učinkovitosti, poboljšanjem taktike, napada i boljeg tijeka isporuke nego s običnim mlaznicama (slika 23.).



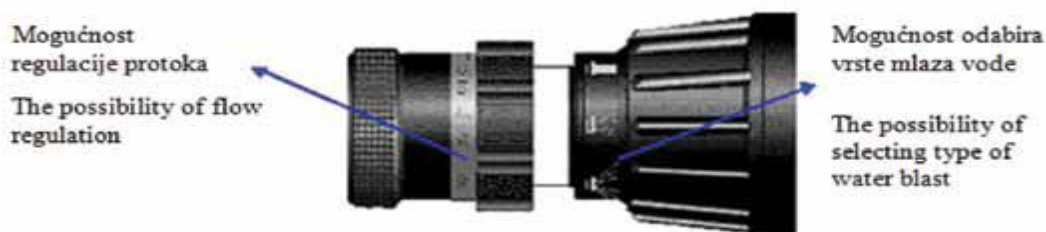
Slika 23. Glavni dijelovi patent mlaznice [7]

Kod patent mlaznice voda teče istom brzinom na čitavom opsegu mlaza što za posljedicu ima i bolju kvalitetu mlaza (slika 24.).



Slika 24. Brzina na čitavom opsegu mlaza je ista [7]

Ova vrsta mlaznica ima mogućnost namještanja određenog protoka vode okretanjem prstena koji se nalazi na tijelu mlaznice lijevo-desno, čime povećavamo i smanjujemo protok. Nadalje je prikazan dio mlaznice s kojim se može određivati protok kao što je prethodno opisano, a osim protoka može se određivati i vrsta mlaza (puni, raspršeni s manjim kutom prekrivanja, većim kutom prekrivanja) (slika 25.).

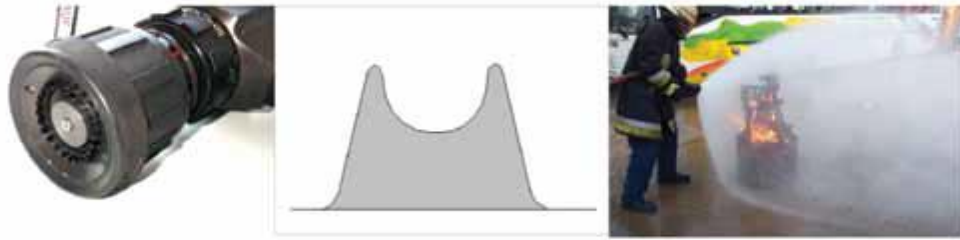


Slika 25. Dio mlaznice koji utječe na regulaciju protoka i odabira vrste mlaza [7]

Podjela patent mlaznica je izvršena s obzirom na oblik mlaza pa tako imamo patent mlaznice s rotirajućim prstenom i patent mlaznice sa stabilnim (fiksni) prstenom.

### **Patent mlaznice s rotirajućim prstenom**

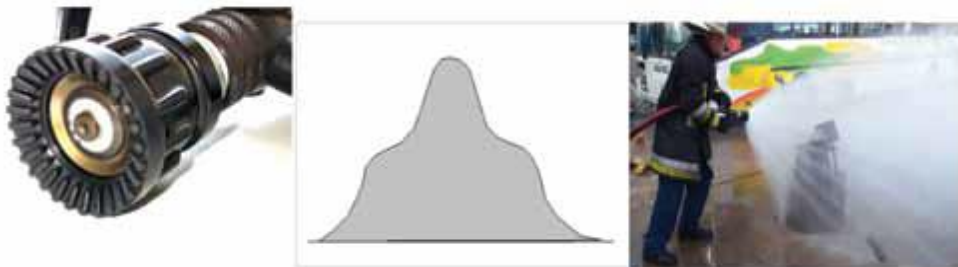
Kod patent mlaznica s rotirajućim prstenom voda se distribuira samo preko vanjske površine stošca i kao takva pogodna je za gašenje zapaljivih tekućina i plinova, ali nije pogodna za unutarnju navalu (slika 26.).



*Slika 26. Patent mlaznice s rotirajućim prstenom, oblik stošca i primjena [7]*

### **Patent mlaznice sa stabilnim (fiksni) prstenom**

Kod patent mlaznica sa stabilnim (fiksni) prstenom voda se distribuira preko vanjske površine cijelog stošca i kao takva pogodna je za gašenje požara u klasi A i za unutarnju navalu (slika 27.).



*Slika 27. Patent mlaznice sa stabilnim prstenom, oblik stošca i primjena [7]*

## **5.7. Taktička ventilacija**

Novi konstruktivni parametri znatno su poboljšali kvalitetu materijala i nove tehnike za povećanje, između ostalih faktora, vodonepropusnosti i općenito neprobojnosti građevina. Ove su veličine označile prekretnicu u evolucijskoj dinamici ograničenja požara kao i uklanjanju poteškoća prozračivanja unutar zavatrene zone, specifičnih ili općenitih požara zatvorenih objekata što potiču nastanak velikih termičkih pojava destruktivne snage, kao naglog preskoka/prijelaza rastućeg požara što odjednom zahvaća sve gorive materijale u zatvorenom prostoru (flashovera) ili eksplozije dimne smjese (backdrafta), ukazujući na važnost znanja o plinovima nastalim tijekom izgaranja, širenja i njihovom pogibeljnim posljedicama.

Istraživanja u svijetu pokazala su bezbroj puta da se najveći postotak smrtnih slučajeva pri požaru zgrada pripisuje pogubnom djelovanju dima i izgaranjem

nastalih vrućih plinova. Ljudi ne umiru od izravnog učinka plamenova, već uglavnom trovanjem koje izaziva gušenje i nesvjesticu te ih sprječava da pobjegnu s mjesta ovatrenja. Dakle, vrijeme aktiviranja i učinkovitost ventilacije ključni su elementi prilikom pokretanja akcije gašenja. Istraživanja i tehnološki napredak u smislu zaštite gasitelja pri intervenciji u gore opisanim rizičnim scenarijima i prilagodbe novim pogibeljima, nude nove alate i iskustva u poimanju i primjeni taktičke ventilacije, kao neke vrste dopune tehnika operativne ventilacije.

Kada se vatra iznenada pojavi, jedan od glavnih problema s kojima se vatrogasci susreću jest nedostatak vidljivosti i akumulacija vrućih plinova i para u zavatrenom objektu. Gomilanje dima ne samo da otežava praćenje požarnog traga, nego i lociranje njegovog izvorišta i kasno otkrivanje zatečenih žrtava.

Vatrogasci, govoreći o pojmu ventilacija, misle na specifičan postupak na mjestu događaja, koji se koristi za postizanje taktičke prednosti tijekom operacije gašenja požara unutarnjih prostora, neophodan za „planirano i sustavno uklanjanje dima, topline i plinova izgonom izvan objekta zahvaćenog požarom”, to jest redukcije ili eliminacije nusproizvoda, izgaranja opožarenih predmeta ili drugih lakozapaljivih materijala.

Pri svjesnom provjetravanju postižu se i drugi željeni učinci, kao:

- pad unutarnje temperature u zahvaćenom prostoru;
- veća vidljivost za vatrogasce i spasilačke ekipe;
- mogućnost za provođenje pregledne akcije spašavanja unutar zadimljene prostorije u kratkom vremenu;
- radi brže intervencije smanjeni ukupni gubici nastali opožarenjem;
- veća sigurnosti za vatrogasce jer smanjuje rizik od nesreće pri upadu u klopku flashovera ili backdrafta.

Ključno je da za sve vatrogasne operativne aktivnosti u cjelini, pa tako i ventilaciju, naročito vrijedi sustavnost i učinkovitost, to jest kada su usmjerene k preciznom i specifičnom cilju, u kojem slučaju ima malo prostora za slučajnost ili improvizaciju.

Jedna od najtežih odluka vatrogasnog zapovjednika na mjestu požara u zatvorenom prostoru, koji radi po standardnoj operativnoj proceduri jest ventilirati ili ne?

Svaki postupak ventilacije zahtjeva predumišljaj s obzirom na namjenu i cilj a on je izvođenje sigurne ventilacije za život gasitelja, za učinkovito obuzdavanje vatre i konačno za postizanje sigurnosti. Kada vatra gori u premalo ventiliranom stanju (požar se razvija sporo, stvarajući gomilanje teškog i vrućeg dima) mora se paziti na postupak ulaska u zavatrenu prostoriju, a pametno je prije ulaska, ventilirati odjeljak izvana. U tom slučaju preporuča se koristiti mehaničku, odnosno forsiranu ventilaciju pozitivnim tlakom. Radi se o uvođenje svježeg zraka u skućeni prostor izvana, stvarajući blagi pretlak unutar ovatrenog prostora. Može biti obrambena ili napadačka, direktnim ventiliranjem predmeta zahvaćenih plamenom u prostoriji. Do sada, glavni alat za obavljanje različitih tehnika taktičke ventilacije bili su ventilatori pogonjeni termičkim, električnim i hidrauličkim motorom, svi redom s tehničkim ograničenjima, koja su sada prevladana pojavom na tržištu tehnologije turbopuhala jedinstvene tehničke izvedbe, dajući djelotvoran odgovor u rješavanju ove vrste djelovanja. Slijedi opis vrsta ventilacija koje vatrogasci koriste u vatrogasnim intervencijama.

### **Okomita ventilacija**

Ova vrsta ventilacije podrazumjeva otvaranje krova ili već postojećih krovnih otvora u svrhu odimljavanja. Kako bi pravilno ventilirali krov vatrogasci moraju poznavati osnovne tipove i dizajn krova. Vatrogasci dolaze u dodir sa tri rasprostranjena tipa krova: ravnim, šiljastim, u obliku luka i kombinacijom. Okomita ventilacija se može obaviti kada vatrogasci obave sljedeće radnje: razmotre tip zgrade zahvaćene požarom; razmotre lokaciju, trajanje i opseg požara; razmotre mjere sigurnosti; odrede putove povlačenja; odaberu mjesto ventilacije i premjeste osoblje i alat na krov. Ako na krovu već postoje krovni otvori (poklopci, prozori, krovni monitori, ventilacijska okna i vrata od stuba) iste treba koristiti za okomitu ventilaciju gdje je to moguće. No, rijetko su ti otvori na najboljem mjestu ili dovoljno veliki za prikladnu ventilaciju.[1]

Kada se reže krov treba napraviti pravokutni ili kvadratni otvor kako bi se olakšao kasniji popravak krova. Jedan veliki otvor najmanje 1,2 m x 1,2 m je puno bolji od nekoliko manjih (slika 28.).





*Slika 28. Ventilacijski otvori na krovu [1]*

Kada se ostvari okomita ventilacija, prirodni prijenos zagrijanih plinova stvara strujanje prema gore koje vuče požar i toplinu u smjeru vanjskog otvora. Uslijed toga vatrogasci iskorištavaju poboljšanu vidljivost da ugase požar. Povišeni mlaz vode često se koristi za smanjenje iskri i letećih čestica iz goruće zgrade ili za smanjivanje toplinskog isijavanja iznad zgrade. Naročitu pažnju pri korištenju ovog mlaza vode treba obratiti na to da se on ne koristi prema dolje, u ventilacijski otvor, jer se tako može poremetiti uobičajeno gibanje plinova iz zgrade. Ovo može potjerati pregrijane plinove i zrak natrag na vatrogasce uzrokujući ozbiljne ozljede ili smrt kao i širenje požara kroz strukturu. Mlazovi vode koji se formiraju odmah iznad ventilacijskog otvora trebali bi biti projicirani malo iznad vodoravne ravnine (slika 29). Tako usmjeren mlaz vode pomaže pri smanjenju nastale topline hlađenjem, a i u gašenju iskri.

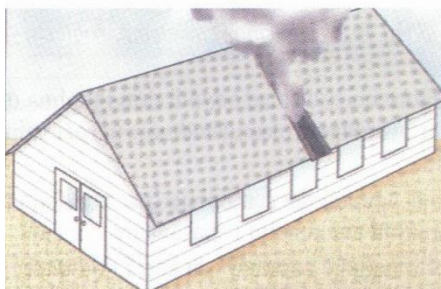


*Slika 29. Usmjereni mlaz vode-brže odimljavanje i sprječavanje širenja požara [1]*

### **Linijska ventilacija**

Ova vrsta ventilacije poznata je još i kao ventilacija brazdom, prugom ili isjekom. Standardna okomita ventilacija se koristi samo radi uklanjanja zagrijanih dimova i plinova koncentriranih iznad požara, a ventilacija isjekom se koristi radi zaustavljanja širenja požara duž duge uske strukture.

Izvodi se režući veliku rupu ili brazdu koja je minimalno široka 1,2 m i pruža se od jednog vanjskog zida do onog nasuprot (slika 30.). Ova rupa obično se reže ispred napredujućeg požara kako bi se postavila obrambena linija na kojoj će napredovanje vatre biti zaustavljeno.

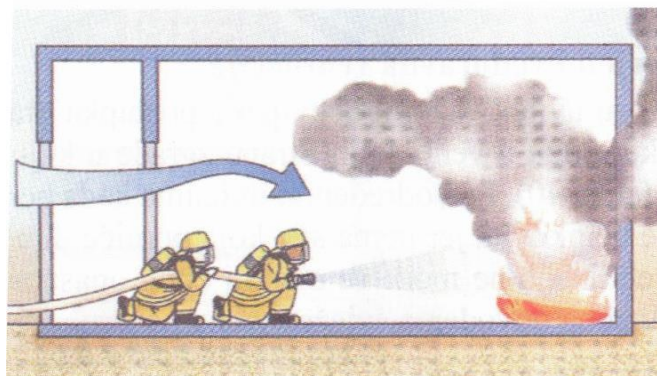


*Slika 30. Isjek po čitavoj širini krova [1]*

### **Vodoravna ventilacija**

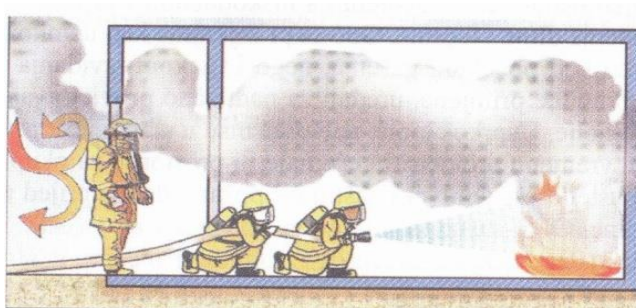
Pomoću nje se vrši ventiliranje topline, dima i plinova kroz zidne otvore kao što su prozori i vrata. Tada se obično dim i toplina ne odvede odmah iznad požara prema van, već putovi kojima oni prolaze ugrožavaju stanare, odnosno putove evakuacije. Zbog toga postavljanje ove ventilacije bez prethodnog obaziranja na stanare i proces spašavanja može blokirati evakuaciju i spašavanje stanara. Kako se ovim ventiliranjem dim i toplina ne odvede odmah izvan zgrade, postoji konstantna opasnost da plinovi i dim koji se odvede zapale više dijelove zgrade. Mogli bi zapaliti vanjsku konstrukciju građevina ili bi mogli biti povučeni u prozore iznad njihove točke oslobađanja. Spašavanje unesrećenih izvodi se odmah, a usporedno se pripremaju cijevi za gašenje do samog ulaska u prostor. Zgrada se ne smije otvarati, (osim ako se moraju spašavati unesrećeni) tako dugo dok nije provedeno odimljavanje i dok nisu pripremljeni mlazovi za gašenje i za zaštitu.

Otvaranjem vrata i prozora između napredujućih vatrogasnih grupa i napravljenih ventilacijskih mjesta izlasaka plinova smanjuje se dotok svježeg zraka s otvora iza vatrogasaca (slika 31.).



*Slika 31. Pravilna ventilacija omogućuje veću učinkovitost gašenja požara [1]*

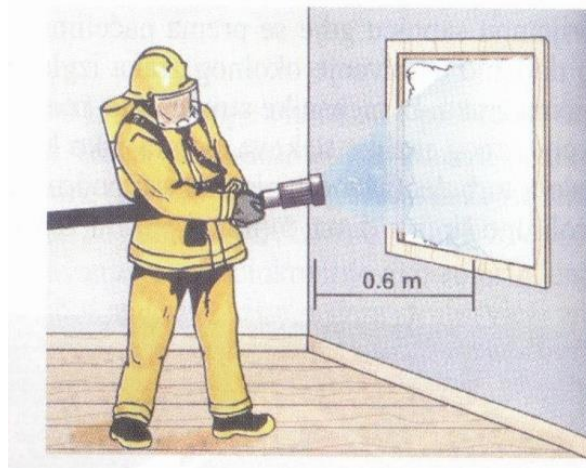
Dim i toplina se pojačavaju ako se strujanje poremeti uslijed prisutnosti vatrogasaca ili drugih prepreka na vratima (slika 32.).



*Slika 32. Blokiranje ventilacijskog otvora onemogućava proces ventiliranja [1]*

### **Hidraulična ventilacija**

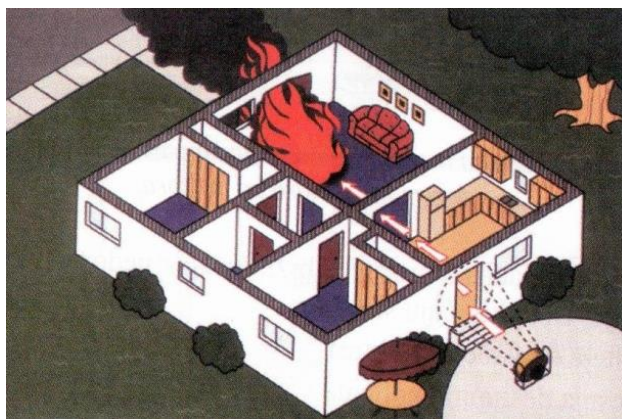
Ventilacija upotrebom mlaza može se koristiti kada se drugi tipovi prisilne ventilacije ne koriste. Nju izvode grupe s mlazovima napadajući požar iznutra. Ova tehnika iskorištava zrak koji je uvučen u vodenu maglu kako bi izbacila produkte izgaranja van građevine. Za izvođenje hidraulične ventilacije vodena magla treba pokrivati 85 do 90% površine prozora i vrata kroz koja će se dim izbacivati. Vrh mlaznice treba biti najmanje 0,6 m odmaknut od otvora (slika 33.).[1]



*Slika 33. Udaljenost mlaznice od prozora pri izvođenju hidraulične ventilacije [1]*

### **Nadtlačna ventilacija**

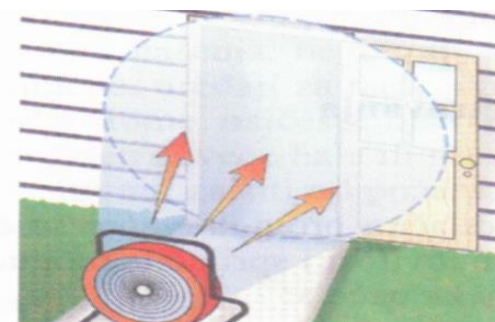
Primjenjuje se kao učinkovit oblik odvođenja dima i topline ne samo kod početnog gašenja, nego i tijekom izviđanja i tijekom završnih radova. Ventilator postavljen na određeni razmak rotiranjem krilca usmjerava zračnu struju kroz ulazni otvor (vrata ili prozor) u zadimljeni prostor, tamo se stvara određeni nadtlak koji se zatim izjednačava s okolnim preko izlaznog otvora (vrata, prozor, krovni prozor ili neki drugi naknadno stvoreni otvor). Pritom nastalo kretanje zraka odnosi čestice dima i toplinu iz tog dijela zgrade. Geometrija krilca na rotoru uređaja za nadtlačno provjetranje omogućuje ne samo stvaranje zračne struje koja u potpunosti zatvara ulazni otvor, nego i pravilno raspoređivanje sile unutar zračne struje. Upravo taj pravilan raspored sile razlikuje ove uređaje od običnih ventilatora. Postoje uređaji različitih promjera rotora i pogonskih agregata, a najviše se koriste uređaji za provjetranje s pogonom na vodenu turbinu ili s motorom s unutarnjim izgaranjem (slika 34.).[1]



*Slika 34. Nadtlačno provjetravanje objekta[1]*

Izuzetno je važno da se s nadtlačnim provjetravanjem započne nakon što se točno odredi žarište požara i osigura odgovarajući izlazni otvor koji treba biti što bliže žarištu požara. Na taj se način štete koje nastaju upotrebom ventilatora mogu ograničiti na samo žarište požara. U slučaju da se izlazni otvor počne stvarati nakon uključivanja ventilatora može doći do iznenadnog povećanog izlaženja plamena, dima i topline. Nadtlačno provjetravanje je naučinkovitije ako se primjenjuje s one strane koja nije zahvaćena požarom pa tako u smjeru žarišta požara struji svježiji zrak pod tlakom, koji zatim izlazi iz građevine kroz izlazni otvor, koji treba biti u blizini žarišta. Ovakvom izvedbom provjetravanja u dijelove zgrade koji nisu neposredno ugroženi požarom ne odlazi toliko dima i drugog zagađenog zraka.

Radi mogućnosti postizanja maksimalnog učinka ventilatora isti se mora postaviti na određeni razmak od ulaznog otvora, kako bi ga zračna struja potpuno zatvorila. Razmak između ventilatora i ulaznog otvora ovisi o kapacitetu ventilatora i veličini ulaznog otvora (slika 35.).



*Slika 35. Postavljanje nadtlačnog ventilatora [1]*

## **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 te podrazumijevala 4 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<sup>0</sup> C.[8]

Ispitanicima je mjereno krvni tlak, tjelesna temperatura u zvukovodu, pokazatelji plućne funkcije, stupanj oštećenja DNA i indeks tjelesne mase. Navedena mjerenja pokazala su visoku učestalost pretilosti (27%) te povišenih vrijednosti krvnog tlaka (53%) prije obuke. Spomenuta obuka dovela je do većeg porasta srčane frekvencije i temperature u pripadnika DVD-a u odnosu na profesionalne vatrogasce. 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 te se može smatrati zdravstveno sigurnom za zdrave vatrogasce uz obaveznu upotrebu 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 (umnožak

broja godina pušenja s prosječnim brojem popušanih cigareta dnevno) nego dobrovoljni vatrogasci, iako je udio pušača bio podjednak u obje skupine vatrogasaca.

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  $1,1^{\circ}$  C, a dobrovoljni vatrogasci su imali za  $0,33^{\circ}$  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 te fiziološki očekivanog odgovora kardiovaskularnog i dišnog sustava na toplinski i fizički napor, što se odnosi na pripadnike obje ispitivane grupe vatrogasaca. Kod ispitanih vatrogasaca nisu zabilježene patološke reakcije kardiovaskularnog i dišnog sustava, kao niti porast oštećenja DNK stanica periferne krvi tijekom obuke stoga se 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.



## 7. EKSPERIMENTALNI DIO

### 7.1. Vježba u plinskom simulatoru – Fire dragon III

Prostor unutar simulatora namijenjen obuci naziva se požarni prostor i sastoji se od dvije međusobno spojene prostorije. U svaku prostoriju moguće je ući kroz dvoja vrata s platforme, a u jednu i kroz otvor na krovu. Na sredini objekta nalazi se kontrolna prostorija opremljena upravljačkim pultom iz koje se upravlja i nadzire cjelokupan rad vježbališta, direktno kroz posebna stakla ili putem video kamera. S jedne i druge strane nalazi se tehnički prostor u kojem su smještene boce s plinom kao i složeni elektronski sustavi kojima se upravlja simulatorom.

U prvoj prostoriji nalazi se stubište, simulator plinske instalacije i plinskog brojila, a u drugoj prostoriji nalazi se simulator štednjaka i kreveta iznad kojega je zidna polica (slika 36.).



*Slika 36. Unutrašnjost simulatora Fire dragon III [6]*

Voditelj se nalazi u kontrolnoj prostoriji iz koje upravlja i nadzire rad, a instruktor ulazi u simulator s polaznicima obuke. Voditelj vježbališta prati rad vatrogasaca i instruktora te na njegov znak postupno smanjuje i gasi požar u simulatoru. Instruktor pregledava zaštitnu opremu vatrogasaca prije ulaska u kontejner te u svakom trenutku prati rad polaznika i pazi da se sve radnje izvode u pognutom, odnosno klečećem položaju. Instruktor je u svakom trenutku u mogućnosti pritisnuti tipku STOP u slučaju nenadanog događaja i time trenutno prekinuti rad simulatora. Prije vježbe preporuča se popiti bar 0,5 litara vode a unutar požarnog prostora strogo je zabranjeno biti u uspravnom položaju.

Polaznici obuke moraju biti opremljeni propisanom zaštitnom odjećom i opremom: vatrogasna zaštitna jakna prema EN 469, vatrogasne zaštitne hlače prema EN 469, zaštitne rukavice prema EN 659, potkapa višeslojna prema EN 13911, vatrogasne zaštitne čizme, vatrogasna kaciga (bez vanjskog vizira) s zaštitom za vrat, prema EN 443 i uređaj za zaštitu organa za disanje sa zaštitnom maskom, (IA na komprimirani zrak), sa atestiranom bocom od 300 bara.[9]

Svi polaznici moraju imati važeću liječničku svjedodžbu o psihofizičkoj sposobnosti za obavljanje poslova vatrogasca. Obuka u simulatoru na plin sastoji se od četiri praktične vježbe.

U prvoj vježbi voditelj ispunjava prostoriju 2 dimom i maksimalno pali simulator štednjaka. Dva polaznika i instruktor opremljeni propisanim zaštitnim sredstvima ulaze propisanim postupkom kroz vanjska vrata u prostoriju. Standardni postupak ulaska u prostoriju kroz vrata sastoji se od provjere temperature u prostoriji tako što vatrogasac skine rukavicu i dlanom ruke opipava vrata od podnožja prema vrhu. Tim postupkom se odredi i visina nakupljenih požarnih plinova u njoj. Potom se vrši hlađenje vrata raspršenim mlazom te se ista otvaraju i u prostoriju se ubacuje voda sa 2 do 3 kratka impulsna mlaza raspršene vode usmjerena u strop prostorije. Tim postupkom se vrši snižavanje temperature u prostoriji i olakšava ulazak u istu. Nakon ulaska vatrogasci se u klečećem položaju približavaju i raspršenim mlazom gase požar štednjaka. Nakon toga voditelj uključuje maksimalno plamen ispod stuba u prostoriji 1 u koju vatrogasci u pognutom položaju prelaze i gase požar stubišta te nakon toga izlaze iz simulatora putem kojim su ušli.

Druga vježba započinje penjanjem po ljestvi s vatrogasnom cijevi i mlaznicom te pričuvnim cijevima na krov kontejnera. Kroz otvor na krovu u prostoriju 1 ulaze dva polaznika i instruktor, a za to vrijeme voditelj vježbališta pušta dim u prostoriju i pali plamenik ispod stubišta na maksimum. Nakon što su vatrogasci pogasili navedeni požar produžuju mlaz s jednom C cijevi i oprezno se spuštaju stubištem u prostoriju u kojoj voditelj pali požar simulatora plinske instalacije i brojila. Vatrogasci se u klečećem položaju približavaju požaru raspršenim mlazom i nakon što mlazničar odbije plamen od ventila, pomoćnik zatvara dotok plina na ventilu. Nakon što su ugasili požar plinskog brojila, vatrogasci napreduju s raspršenim

mlazom prema požaru plinske instalacije, gdje intenzivno hlade mjesto izbijanja požara te nakon toga punim mlazom „odsijecaju“ plamen. Potom voditelj simulira paljenje nakupljenih zapaljivih plinova pri stropu prostorije tj. flashover kojega vatrogasci gase impulsnom tehnikom gašenja. U ovom dijelu vježbe vatrogasci su u mogućnosti uočiti razliku između dovoljne i nedovoljne količine vode koju „ubacuju“ u požar radi smanjivanja temperature. Po završetku gašenja vatrogasci iznose opremu iz kontejnera.

U trećoj vježbi provodi se propisani postupak otvaranja vrata, a potom dva vatrogasca i instruktor ulaze u prostoriju 1 gdje naprave izvid i napreduju prema prostoriji 2. Nakon što su propisani postupak otvora vrata između prostorija, ulaze u prostoriju u kojoj je voditelj pokrenuo požar kreveta na kojem se nalazi žrtva (lutka) koju je potrebno spasiti. Spašavanje žrtve odvija se na slijedeći način: mlazničar raspršenim mlazom štiti žrtvu i svog pomoćnika dok pomoćnik izvlači žrtvu u prostoriju 1, te se nakon toga priključuje mlazničaru i nastavljaju gašenje kreveta. Voditelj pokreće požar simulatora štednjaka koji postepeno pojačava, a vatrogasci nakon što su pogasili požar kreveta gase i požar štednjaka.

U posljednjoj vježbi, nakon što voditelj vježbališta ispuni dimom obje prostorije, pali simulator požara stubišta. Vatrogasci i instruktor propisanim načinom ulaze kroz vrata i nakon pregleda prostorije 2 prolaze kroz otvor u prostoriju 1. Prilikom provlačenja vatrogasaca kroz prolaz između prostorija potrebno je skinuti izolacijski aparat dok maska naravno ostaje na licu. U prostoriji 1 vatrogasci ponovno stavljaju izolacijske aparate i u klečećem položaju s raspršenim mlazom napreduju prema plamenu ispod stubišta. Pri gašenju stubišta mlazničar sam odabire veličinu vodene zaštite kao i protok na mlaznici. Nakon gašenja stubišta vatrogasci prelaze na gašenje požara plinskog sata, koji je voditelj u međuvremenu pokrenuo, na način da s raspršenim mlazom odmaknu plamen od ventila. Nakon što je pomoćnik zatvorio ventil te je na taj način požar ugašen i posljednja vježba je završila.

## 7.2. Vježba u simulatoru na kruta goriva

U uvježbavanju u simulatoru plamenih udara na kruta goriva, kao i kod vježbanja u simulatoru na plin, mogu učestvovati osobe koje su tjelesno i duševno sposobne za obavljanje vatrogasne djelatnosti što se dokazuje potvrdom ovlaštene zdravstvene ustanove i potvrdom o osposobljavanju za obavljanje poslova vatrogasca. Vježba u simulatoru plamenih udara na kruto gorivo smije se izvoditi samo ako su polaznici opremljeni kompletnom zaštitnom odjećom i opremom kao i prilikom vježbanja u simulatoru na plin. Praktičnom uvježbavanju prethodi teoretska obuka koja obuhvaća slijedeća poglavlja: razvoj požara u zatvorenom prostoru, nagla razbuktavanja požara, gašenje požara u zatvorenom prostoru, postupak ulaska u prostor zahvaćen požarom, taktička ventilacija te sigurnost u simulatoru plamenih udara.

Unutar simulatora nije dozvoljeno stajanje u uspravnom položaju već se isključivo kreće u pognutom položaju, također je strogo zabranjeno dodirivanje i tapšanje zaštitne odjeće drugih osoba tijekom vježbe u simulatoru. Sudionici vježbi u simulatoru su upućeni da tri udarca o oplatnu simulatora označavaju trenutni prekid vježbe ako je to potrebno iz bilo kojeg razloga. Instruktori također preporučuju unošenje tekućine u organizam i to 0,5 litara dva sata prije ulaska u simulator i 1 litru 30 minuta nakon završetka vježbe. Nakon teorijskog djela vježbe počinje praktični dio koji se sastoji od više tematskih cjelina a počinje demonstracijom razvoja požara i nastanka flashovera na maloj „flashover kutiji“ koja u umanjenom mjerilu pokazuje požar jedne prostorije (slika 37.).



*Slika 37. Flashover kutija [6]*

Zatim se vatrogasci opremaju sa izolacijskim aparatima i na poligonu po dvojica u grupi uvježbavaju rad sa mlaznicama. Pri toj vježbi instruktori im preko vizira zaštitnih maski stavljaju poveze kako bi se dočarao taman to jest zadimljen prostor, sličan onome pri unutarnjoj navali, te vatrogasci uvježbali kretanje u njemu kao i rad sa mlaznicom u takvim uvjetima (slika 38.).



*Slika 38. Uvježbavanje rada sa mlaznicom [6]*

Nadalje vatrogasci na poligonu uvježbavaju zaštitni mlaz ili takozvani „flashover refleks“ (slika 39.). Sa tom radnjom vatrogasci uvježbavaju kako si, u slučaju izloženosti flashoveru, spasiti život jer je u tom trenutku takav zaštitni mlaz jedino što im je preostalo. Ako vatrogasca zadesi takva situacija bitno je na mlaznici otvoriti najveći mogući protok vode, namjestiti raspršeni mlaz te bočno leći na pod i zaštititi se takvim mlazom.



*Slika 39. Uvježbavanje „flashover refleksa“ [6]*

U daljnjem tijeku vježbe vatrogasci ulaze u simulator. Prvi ulazak je bitan zbog privikavanje na toplinu.

Kako vatrogasci na znak instruktora izmjenjuju mjesta (prvi do ložišta ide na začelje a vatrogasac koji je bio iza njega zauzima njegovo mjesto) tako se primiču ložištu i nakon određenog vremena kroz svoja zaštitna odijela osjete značajan porast topline. U ovom dijelu vježbe u simulatoru je moguće promatrati razvoj požara te zone zadimljenosti to jest podtlaka i nadtlaka u simulatoru (slika 40.). Kako se simulator puni sa produktima izgaranja uočava se spuštanje zone zadimljenosti prema dnu simulatora. Kada su se svi vatrogasci izrotirali slijedi kraj ove vježbe i izlazak iz simulatora u pognutom položaju.



*Slika 40. Promatranje razvoja požara [6]*

Nakon te vježbe slijedi drugi ulazak u simulator u kojem instruktori simuliraju plameni udar. Nakon prezentacije flashovera vatrogasci su trebali blokirati razvoj istih upotrebom impulsne tehnike gašenja i ohlađivanja nakupljenih plinova. Nakon što su svi isprobali navedenu tehniku gašenja te, u većini slučajeva, uspješno „uhvatili“ flashover završava ovaj dio vježbe i vatrogasci uz odgovor instruktora da su svi uredi napuštaju simulator.

Potom vatrogasci i treći puta ulaze u simulator, ovaj puta na bočna vrata simulatora uz pravilan postupak pri ulasku u prostoriju zahvaćenu požarom. Kao i kod vježbe u simulatoru na plin pravilan postupak ulaska vatrogasaca u prostoriju zahvaćenu požarom kroz vrata sastoji se od provjere temperature u prostoriji tako što vatrogasac skine rukavicu i dlanom ruke opipava vrata od podnožja prema vrhu. Tim postupkom se odredi i visina nakupljenih požarnih plinova u njoj.

Potom se vrši hlađenje vrata raspršenim mlazom te se ista otvaraju i u prostoriju se ubacuje voda sa 2 do 3 kratka impulsna mlaza raspršene vode usmjerena u strop prostorije. Tim postupkom se vrši snižavanje temperature u prostoriji i olakšava ulazak u istu. Nakon toga vatrogasci u pognutom položaju ulaze u prostoriju, te se kreću u desno što bliže stjenki (zidu) simulatora, jer je u prostoriji smanjena vidljivost uslijed nakupljanja velike količine dima. Pretražuju prostor i kada dođu do ložišta tj. izvora požara isti gase te nastavljaju kretanje po simulatoru u potrazi za otvorom kako bi isti otvorili i omogućili ventiliranje simulatora. Nakon što obave navedeno vježba završava te izlaze iz simulatora.

Na kraju svake vježbe slijedi razgovor sa instruktorima koji ukazuju na bitne detalje i moguće nedostatke koji se trebaju popraviti.

### 7.3. Sigurnosne mjere

Sigurnost vatrogasaca prilikom uvježbavanja u simulatoru je najveća briga i zadatak. Upravo zbog toga, upute i sigurnosne mjere ponavljaju se prije svakog ulaska u simulatoru, ali i na teoretskim predavanjima. Po izlaznim anketama 95% polaznika seminara smatra da su bili apsolutno sigurni u simulatoru.[9]

**Osobna zaštitna oprema:** u simulatoru se može ući isključivo sa kompletnom osobnom zaštitnom opremom za gašenje požara a prema odgovarajućim europskim normama.

**Tehničke mjere:** simulator je izgrađen i certificiran prema odgovarajućoj normi. Tehničke mjere (položaj vrata, prekolopke, zavjesa, vrsta materijala i sama gradnja) poduzete su i dimenzionirane radi sigurnosti.

**Preklopke za odimljavanje i ventilaciju** služe brzom i efikasnom odvođenju dima i topline iz prostora za promatranje u simulator.

**U simulatoru su sa polaznicima uvijek tri instruktora zadužena za sigurnost.** Navedeni instruktori nalaze se ispred polaznika, te primaju najviše topline od požara da bi polaznike mogli pravovremeno rotirati. Još dva instruktora su van simulatora u pripremi da zamjene instruktore unutar simulatora.

**Instruktori:** svi instruktori su dugogodišnji vatrogasci, operativci sa položenim instruktorskim tečajem u Njemačkoj i stotinjak samostalnih ulazaka u simulator. Sastav instruktora je različit: od vatrogasaca, voditelja odjeljenja pa do zapovjednika postrojbi. Većina instruktora je u projektu simulatora dobrovoljno i često se upućuju na usavršavanja znanja (Njemačka, Engleska, Slovenija, Švedska, Australija, UK.)

**Dva neovisna izvora vode:** Voda za gašenje u simulatoru osigurava se iz dva odvojena, neovisna izvora vode.

**Zdravstvena sposobnost:** U uvježbavanju u simulatoru plamenih udara mogu sudjelovati osobe koje su tjelesno i duševno sposobne za obavljanje vatrogasne djelatnosti što se dokazuje potvrdom ovlaštene zdravstvene ustanove i potvrdom o osposobljavanju (minimalno zvanje „vatrogasac“) - sukladno člancima 21. i 22., ZOV, NN\_106/99., 117/01., 36/02., 96/03. i 139/04., čime se prema zakonskim propisima dokazuje zdravstvena sposobnost za obavljanje poslova vatrogasca.

**Prethodno teoretsko i praktično uvježbavanje:** Prije samog ulaska u simulator svim polaznicima se detaljno objašnjavaju i praktično pokazuju sve sigurnosne mjere.

**Kretanje:** Unutar simulatora kretanje je dozvoljeno u pognutom položaju čime se izbjegava gornji, vrući dio dimnog sloja.

**Disciplina:** Svi polaznici obvezni su pridržavati se uputa instruktora bez prigovora, a instruktori su dužni svakog polaznika koji ne sluša njihove upute udaljiti sa uvježbavanja i o navedenom obavijestiti organizatora uvježbavanja i Zapovjednika postrojbe iz koje je polaznik.

**Hidracija:** Svaki polaznik mora piti dovoljnu količinu vode, najmanje 0,5 litre prije svakog ulaska.

**Medicinska pomoć:** Prilikom uvježbavanja osigurano je prisustvo osobe osposobljene za pružanje prve pomoći.



**Gorivo:** U simulator se uvijek stavlja ista količina goriva i to samo nebojanih, netretiranih drvenih paleta. Količina paleta ovisi o vrsti ulaska i vremenskim prilikama ali se uvijek radi o 7-10 drvenih paleta. S obzirom da npr. jedna fotelja ima kaloričnu moć od otprilike 50 drvenih paleta. Za simulaciju plamenih udara strogo je zabranjeno korištenje bilo kakvog goriva osim „A“ klase (drva).

## 8. RASPRAVA I 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 dali je bolji plinski simulator ili 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.

Veliku ulogu u kvaliteti obuke imaju ekipe instruktora o kojima ovisi puno stvari. Instruktori na vježbalištima u simulatorima u Republici Hrvatskoj su jako uigrane ekipe tako da vježbe bivaju odrađene bez problema, te se uz kvalitetnu teorijsku obuku maksimalno vrijeme iskoristi za boravak u simulatoru što mogu potvrditi i iz osobnog iskustva dobivenog na jednoj od vježbi u simulatoru u JVP Ivanić Grad.

Idealni recept je posjetiti oba simulatora a obuka na bilo kojem od navedenih pružit će vam više nego što ste do sad mogli odraditi na bilo kojoj vježbi. Posjet i obuka na oba simulatora stavit će vas u puno izgledniju situaciju kad se sljedeći put nađete s vatrom, lice u lice.

Uvođenje novih tehnologija na bilo kojem polju ljudskog djelovanja, pa i u vatrogasnom, u većini slučajeva rezultira poboljšanjem sustava u koje su implementirane te novim spoznajama. Ako se pri tome ima za cilj što bolja zaštita ljudskih života i imovine dosadašnji trud vatrogasaca zaslužnih za ostvarenje ideje o simulatorima u Republici Hrvatskoj je hvale vrijedan projekt.

## 9. LITERATURA

- [1] Popović, Ž.: „Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika“, HVZ, Zagreb, (2006.), ISBN 953-6385-16-3
- [2] Thomas, P. H.: „Theoretical considerations of the growth to flashover of compartment fires“, [http://www.iafss.org/publications/frn/663/-1/view/frn\\_663.pdf](http://www.iafss.org/publications/frn/663/-1/view/frn_663.pdf), pristupljeno 09.12.2015.god.
- [3] Karlović, V.: „Procesi gorenja i gašenja“, HVZ, Zagreb, (2010.), ISBN 978-953-6385-26-3
- [4] Ivančić, Z., Kirin, S.: „Izvori požarne opasnosti“, Veleučilište u Karlovcu, (2010.), ISBN 978-953-7343-32-3
- [5] Purgar, S.: „Vatrogasna taktika“, Vatrogasna škola, Zagreb, (2007.), 27
- [6] Vatrogasni vjesnik.: „Simulatori plamenih udara u RH“, [http://213.191.137.190/Dokumenti/VV/2008/10\\_2008.pdf](http://213.191.137.190/Dokumenti/VV/2008/10_2008.pdf), pristupljeno 14.10.2015.
- [7] Šipuš, M.: „AFT-Advanced Firefighting Technology“, [http://213.191.137.190/Dokumenti/VV/2014/12\\_2014.pdf](http://213.191.137.190/Dokumenti/VV/2014/12_2014.pdf), 22.10.2015.
- [8] Ljubčić, A., Petrinec, B., Varnai, V.M., Macan, J.: „Pokazatelji zdravstvenog stanja vatrogasaca“, <http://documents.tips/documents/ljubcic-a-petrinec-b-varnai-v-m-macan-j-pokazatelji-zdravstvenog-stanja-vatrogasaca.html> pristupljeno 19.10.2015.
- [9] Jembrih, S., Rogina, M., UPVH: „SPU\_postupnik.pdf“, [http://www.flashover-hr.com/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=1:dokumenti&Itemid=70#](http://www.flashover-hr.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1:dokumenti&Itemid=70#), pristupljeno 14.10.2015.

## 10. PRILOZI

### 10.1. Popis simbola (korištenih kratica)

|      |  |
|------|--|
| JVP  | Javna vatrogasna postrojba               |
| CO   | Ugljični monoksid                        |
| DGE  | Donja granica eksplozivnosti             |
| GGE  | Gornja granica eksplozivnosti            |
| CAFS | Sustav komprimirane zračne pjene         |
| RH   | Republika Hrvatska                       |
| SAD  | Sjedinjene američke države               |
| DVD  | Dobrovoljno vatrogasno društvo           |
| JPVP | Javna profesionalna vatrogasna postrojba |
| VZŽ  | Vatrogasna zajednica županije            |
| VZG  | Vatrogasna zajednica grada               |
| LPG  | Ukapljeni naftni plin                    |
| IA   | Izolacijski aparat                       |
| UK   | Ujedinjeno kraljevstvo                   |
| NN   | Narodne novine                           |
| DNA  | Dezoksiribonukleinska kiselina           |

### 10.2. Popis slika

|  | Stranica |
|--|----------|
| Slika 1. Povišenje temperature u prostoriji ovisno o temperaturi požarnih plinova [1]..... | 3        |
| Slika 2. Primjer flashovera [1] .....  | 4        |
| Slika 3. Prostorija nakon pojave flashovera [1].....                                       | 5        |
| Slika 4. Nepropisna ventilacija pri gašenju požara može uzrokovati backdraft [1] .....     | 9        |
| Slika 5. Backdraft stvoren u simulatoru plamenih udara [6] .....                           | 10       |
| Slika 6. Rollover [1].....   | 12       |
| Slika 7. Faze razvoja požara u zatvorenom prostoru [1].....                                | 14       |

|  |    |
|--|----|
| Slika 8. Vanjski izgled simulatora [6] .....   | 16 |
| Slika 9. Prvi instruktori u Republici Hrvatskoj [6] .....                                | 18 |
| Slika 10. Prvi simulator plamenih udara u RH (JVP Karlovac 2007. godine)[6] .....        | 19 |
| Slika 11. Raspored simulatora plamenih udara u RH .....                                  | 19 |
| Slika 12. Fire Dragon III – plinski simulator [6] .....                                  | 20 |
| Slika 13. Unutrašnjost simulatora Fire Dragon III [6] .....                              | 21 |
| Slika 14. Ulaz u simulator Fire Dragon III [6] .....                                     | 22 |
| Slika 15. Dijelovi simulatora na kruta goriva [6] .....                                  | 23 |
| Slika 16. Flashover u simulatoru na kruta goriva [6] .....                               | 24 |
| Slika 17. Potrošnja topline prilikom zagrijavanja vode [8] .....                         | 28 |
| Slika 18. Odnos veličine kapljica vode i volumena stvaranja vodene pare [7] .....        | 29 |
| Slika 19. Omjer vodene pare u odnosu na vodu na različitim temperaturam [7] .....        | 30 |
| Slika 20. Postava mlaza kod kratkog i dugog impulsa propuštanja vode [7] .....           | 32 |
| Slika 21. Postava mlaza kod „pulsirajuće” tehnike polijevanjem [7] .....                 | 32 |
| Slika 22. Odnos tlaka na mlaznici na promjer kapljica mlaza [7] .....                    | 33 |
| Slika 23. Glavni dijelovi patent mlaznice [7] .....                                      | 34 |
| Slika 24. Brzina na čitavom opsegu mlaza je ista [7] .....                               | 35 |
| Slika 25. Dio mlaznice koji utječe na regulaciju protoka i odabira vrste mlaza [7] ..... | 35 |
| Slika 26. Patent mlaznice s rotirajućim prstenom, oblik stošca i primjena [7] .....      | 36 |
| Slika 27. Patent mlaznice sa stabilnim prstenom, oblik stošca i primjena [7] .....       | 36 |
| Slika 28. Ventilacijski otvori na krovu [1] .....  | 39 |
| Slika 29. Usmjereni mlaz vode-brže odimljavanje i sprječavanje širenja požara [1] .....  | 39 |
| Slika 30. Isjek po čitavoj širini krova [1] .....  | 40 |
| Slika 31. Pravilna ventilacija omogućuje veću učinkovitost gašenja požara [1] .....      | 41 |
| Slika 32. Blokiranje ventilacijskog otvora onemogućava proces ventiliranja [1] .....     | 41 |
| Slika 33. Udaljenost mlaznice od prozora pri izvođenju hidraulične ventilacije [1] ..... | 42 |
| Slika 34. Nadtlačno provjetravanje objekta[1] .....                                      | 43 |
| Slika 35. Postavljanje nadtlačnog ventilatora [1] .....                                  | 43 |
| Slika 36. Unutrašnjost simulatora Fire dragon III [6] .....                              | 47 |
| Slika 37. <i>Flashover kutija</i> [6] .....  | 50 |
| Slika 38. <i>Uvježbavanje rada sa mlaznicom</i> [6] .....                                | 51 |
| Slika 39. Uvježbavanje „flashover refleksa“ [6] .....                                    | 51 |
| Slika 40. Promatranje razvoja požara [6] .....   | 52 |