

Utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na obuku vatrogasaca

Šestak, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:070620>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**

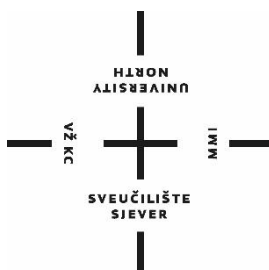


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



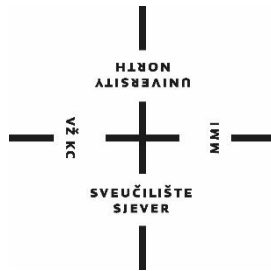
DIPLOMSKI RAD br. 018/MMD/2020

**UTJECAJ VIRTUALNOG
INTERAKTIVNOG SIMULATORA NA
OBUKU VATROGASACA**

Tomislav Šestak

Varaždin, listopad 2020.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij Multimedije



DIPLOMSKI RAD br. 018/MMD/2020

**UTJECAJ VIRTUALNOG INTERAKTIVNOG
SIMULATORA NA OBUKU VATROGASACA**

Student

Tomislav Šestak, 0781/336D

Mentor

doc. art. Robert Geček

Varaždin, listopad 2020.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za multimediju

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Multimedija

PRISTUPNIK Tomislav Šestak

MATIČNI BROJ 0781/336D

DATUM 07.09.2020.

KOLEGIJ Projektni studio 1

NASLOV RADA Utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na obuku vatrogasaca

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The impact of virtual interactive simulator on firefighters training

MENTOR Robert Geček

ZVANJE doc. art.

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc. dr. sc. Andrija Bernik - predsjednik
2. doc. art. dr. sc. Mario Periša - član
3. doc. art. Robert Geček - mentor
4. doc. dr. sc. Darijo Čerepinko - zamjenski član
5. _____

Zadatak diplomskog rada

BROJ 018/MMD/2020

OPIS

Posao vatrogasca jedan od opasnijih zanimanja u kojem je njihov život ugrožen na svakom koraku, od samog uvježbavanja do realnih intervencija. U diplomskom radu potrebno je opisati oblike i uvjete za nastanak plamenih udara, analizirati postojeće načine uvježbavanja vatrogasaca te opisati postojeće simulatore plamenih udara.

Za potrebe rada provest će se istraživanje u obliku anketnog upitnika koji će se provesti među pripadnicima dobrovoljnih vatrogasnih društava te javnih vatrogasnih postrojbi u Republici Hrvatskoj. Prikupljene podatke potrebno je analizirati i na temelju njih donijeti idejno rješenje virtualnog interaktivnog simulatora, te analizirati utjecaj istoga na osposobljavanje vatrogasaca.

Doprinos ovog diplomskog rada bio bi prikazati utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na obuku vatrogasaca, odnosno u kojoj mjeri bi isti olakšao edukaciju vatrogasaca, smanjio njihovo ozljeđivanje, uništavanje osobne zaštitne opreme, te povećao učinkovitost kod uvježbavanja u prepoznavanju opasnih situacija.

ZADATAK URUČEN

08.09.2020.



POTPIS MENTORA

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru doc. art. Robertu Gečeku na ukazanoj nesebičnoj pomoći, usmjeravanju, povjerenju, strpljenju i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj obitelji, supruzi Viktoriji, sinu Ottu koji su moj stup i oslonac, te svojim roditeljima koji su mi pružili podršku tijekom studiranja.

SADRŽAJ

SAŽETAK	1
SUMMARY	2
1. UVOD	3
1.1. Predmet i cilja rada	3
1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja	3
1.3. Svrha istraživanja	3
1.4. Hipoteza istraživanja	4
1.5. Metodologija rada	4
2. OSNOVE GORENJA	5
2.1. Gorenje i gašenje – osnove, razvoj i širenje požara	5
2.2. Razvoj i širenje požara	6
2.3. Gašenje požara	7
2.4. Taktika gašenja požara	8
3. PLAMENI UDARI	11
3.1. Vrste plamenih udara	11
3.2. Plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora - flashover	13
3.3. Plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora - backdraft	14
3.4. Eksplozije ili zapaljenja požarnih plinova	16
3.5. Oprema za zaštitu vatrogasaca od plamenih udara u zatvorenom prostoru	17
4. ANALIZA POSTOJEĆIH SIMULATORA PLAMENIH UDARA U HRVATSKOJ	19
4.1. Plinski simulator plamenih udara	19
4.2. Simulator na kruta goriva	21
4.3. Usporedba postojećih simulatora	22
4.4. Zdravstveno stanje vatrogasaca tijekom provođenja obuke u simulatoru plamenih udara	23
5. ANKETNO ISTRAŽIVANJE	26
6. VIRTUALNI INTERAKTIVNI SIMULATOR	33
7. ZAKLJUČAK	41
IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU	42
LITERATURA	43
POPIS SLIKA	45
POPIS GRAFIKONA	46
PRILOG	47

SAŽETAK

Obzirom na velik broj intervencija u kojima dolazi do ozljeđivanja vatrogasaca i njihove skupocjene zaštitne opreme, potrebno je analizirati postojeće stanje uvježbavanja vatrogasaca i njihovog prepoznavanja opasnih situacija u kojima se mogu naći, te predložiti aktivnosti čime bi se povećala njihova sigurnost.

U diplomskom radu opisan je način uvježbavanja vatrogasaca, te analizirani njihovi prednosti i nedostaci. U sklopu rada napravljeno je istraživanje pomoću anketnih upitnika, a anketom su obuhvaćeni dobrovoljni i profesionalni vatrogasci s područja Republike Hrvatske.

Temeljem analiziranih podataka koji su prikupljeni putem anketnih upitnika, te vlastitim iskustvom u trenutnim načinima uvježbavanja, definira se idejno rješenje za izradu virtualnog interaktivnog simulatora za uvježbavanje vatrogasaca, kojim je prvenstveno cilj smanjiti ozljeđivanje vatrogasaca, oštećivanje zaštitne opreme te podizanje interventne spremnosti na višu razinu.

Ključne riječi:

Plameni udar, vatrogasac, simulator, virtualni interaktivni simulator.

SUMMARY

Considering the increasing number of interventions, which include a lot of burn injuries of firefighters and damage of their expensive equipment, it is necessary to analyze the existing condition of their training process and to identify dangerous situations in which they can be found, as well as suggest some activities for increasing their safety.

The first part of his paper includes description of whole process of firefighter training, plus it's pros and cons. However, the second part of this paper contains a research in a form of a survey relating to a professional and volunteer firefighters from the territory of Republic of Croatia.

Based on analyzed data, which is collected by a survey and author's own experience in existing training conditions, it is possible to define a conceptional solution for building a virtual interactive simulator, which could be used in firefighter training process, whose main goal is to decrease the level of injuries and damage of their safety equipment, as well as increasing the readiness in a case of interventions on a whole new level.

Keywords:

Flame impact, fireman, simulator, virtual interactive simulator.

1. UVOD

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

1.1. Predmet i cilja rada

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

Zadaci koje treba ostvariti u tijeku izrade diplomskog rada su:

- opisati oblike i uvjete za nastanak plamenih udara,
- analizirati postojeće simulatore plamenih udara,
- opisati tehničke karakteristike postojećih simulatora,
- izraditi idejno rješenje novog simulatora,
- analizirati utjecaj novog simulatora na osposobljavanje vatrogasaca.

1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja

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

1.3. Svrha istraživanja

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

1.4. Hipoteza istraživanja

Kroz ovaj rad istražiti će se postavljena hipoteza istraživanja da je uvježbavanjem vatrogasaca putem virtualnog interaktivnog simulatora moguće značajno smanjiti uništavanje opreme i ozljeđivanje vatrogasaca, te povećati prepoznavanje opasnih situacija.

1.5. Metodologija rada

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

U drugom poglavlju obrazlaže se proces gorenja i gašenja, razvoj i širenja požara.

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

Kroz četvrto poglavlje provodi se analiza postojećih simulatora plamenih udara, ukratko se opisuju njihovi načini rada, te se analiziraju prednosti i nedostaci istih.

U petom poglavlju prezentiraju se rezultati anketnih istraživanja. Provedene su ankete u dobrovoljnim vatrogasnim društvima (129 ispitanika) i javnim vatrogasnim postrojbama (77 ispitanika) tijekom kojih su istraženi sljedeći podaci:

- provodi li se praktična nastava,
- da li se prošla obuka simulatora plamenih udara,
- da li je bilo ozlijeđenih vatrogasaca,
- da li je bilo oštećenja opreme,
- da li je bilo povrijeđenih vatrogasaca na intervencijama,
- da li bi mogli više naučiti putem virtualnog interaktivnog simulatora,
- da li bi ih virtualni interaktivni simulator bolje pripremio na realne situacije.

U šestom poglavlju opisano je idejno rješenje virtualnog interaktivnog simulatora, te njegove prednosti u odnosu na standardne simulatore, a na kraju diplomskog rada, u završnom sedmom poglavlju, donesen je zaključak i misao cjelokupnog rada.

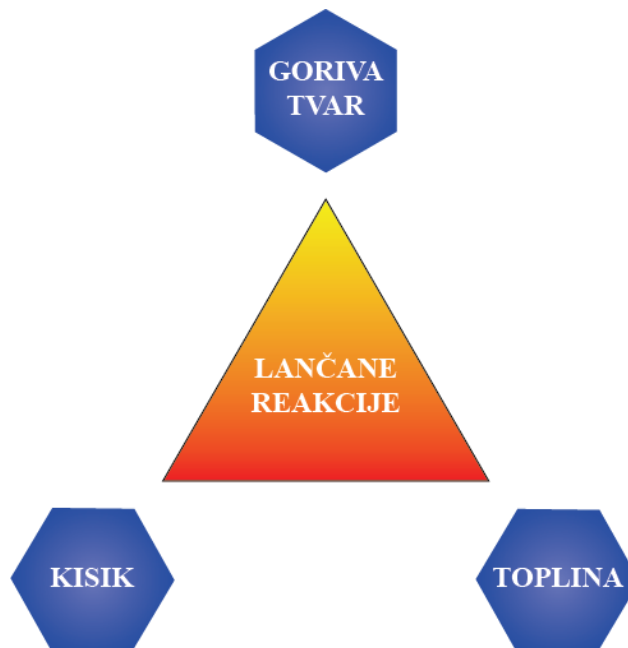
2. OSNOVE GORENJA

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

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

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

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



*Slika 2.1 Uvjeti gorenja
Izvor: izrada autora*

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

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

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

Nepotpuno gorenje odvija se uz nedovoljnu količinu zraka, što se karakterizira velikom količinom dima, a dobiveni produkti mogu se ponovo upaliti. Plinoviti produkti u smjesi sa zrakom postaju eksplozivni. Dim koji se javlja, sastoji se od čađe i ugljičnog monoksida, dok se može

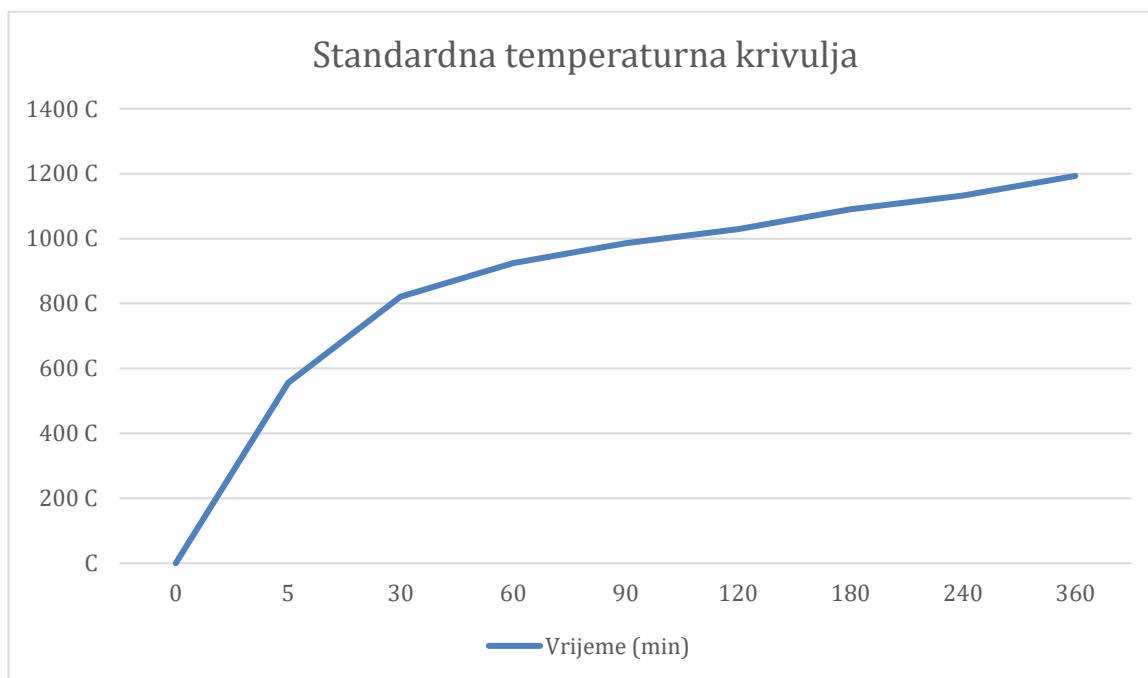
pojaviti i sumporovodik, cijanovodik te mnogi drugi plinovi koji su otrovni. Nepotpuno gorenje najčešće je prisutno kod požara zatvorenog prostora.

2.2. Razvoj i širenje požara

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

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

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



Slika 2.2 Krivulja razvoja temperature

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

Razvoj požara dijeli se u nekoliko faza i to:

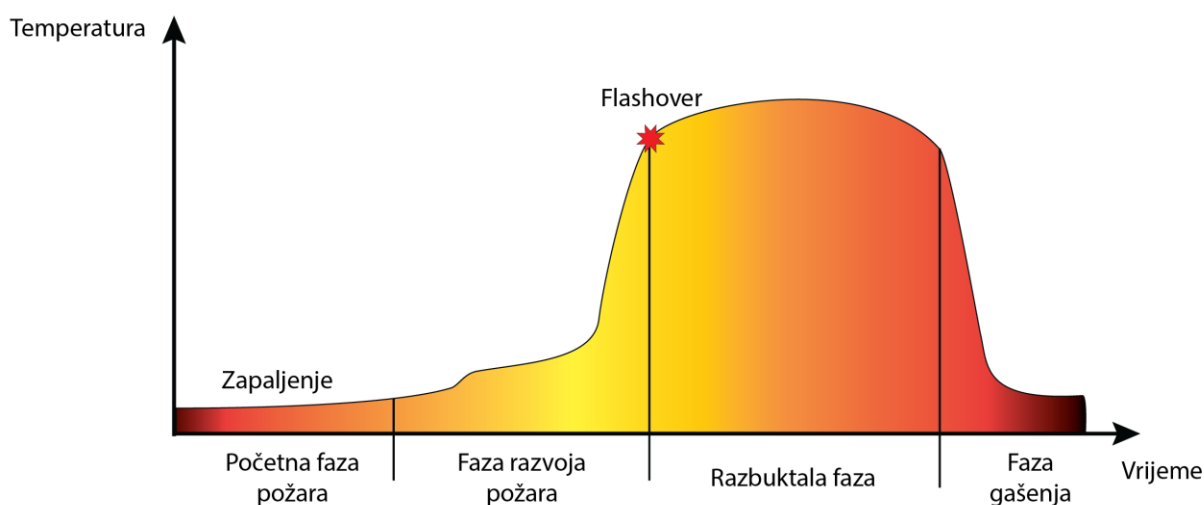
Početna faza koja može trajati nekoliko minuta do čak nekoliko sati uz lagano tinjanje. U toj fazi je relativno niska vrijednost temperature, obujam požara je mali. [3]

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

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

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

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



Slika 2.3 Faze razvoja požara

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

2.3. Gašenje požara

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

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

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

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

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

2.4. Taktika gašenja požara

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

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

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

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

3. PLAMENI UDARI

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

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



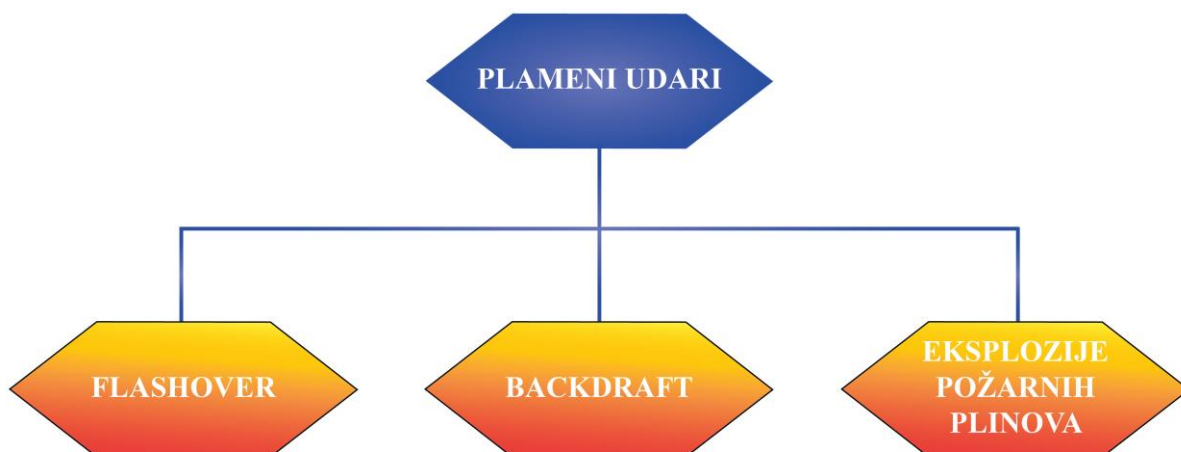
Slika 3.1 Odnos temperature pri požaru zatvorenog prostora

Izvor: [3]

3.1. Vrste plamenih udara

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

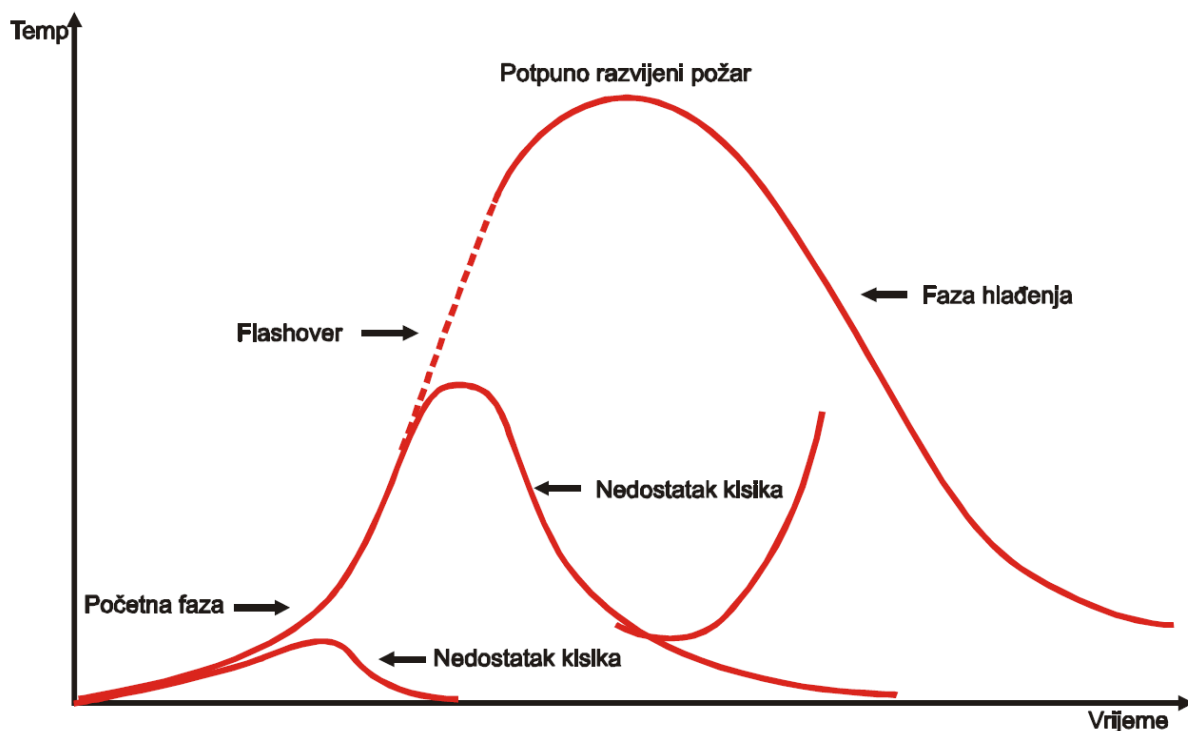
- plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora ili flashover,
- plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora ili backdraft,
- zapaljenje plinova i para ili eksplozije požarnih plinova.



*Slika 3.2 Podjela plamenih udara
Izvor: autor*

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

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



Slika 3.3 Prikazuje nekoliko mogućih scenarija razvoja požara u zatvorenom prostoru
Izvor: [5]

3.2. Plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora - flashover

Britanski vatrogasni znanstvenik dr. Philip H. Thomas prvi je uveo ozbiljnu znanstvenu raspravu o terminu flashover 1960-ih. Thomasovo početno razumijevanje i definicija flashovera bila je netočna, unatoč tome, prvi put se znanstveno razmišljalo o ovom smrtonosnom napredovanju vatre. Od tog trenutka provedena su opsežna znanstvena istraživanja i eksperimentiranja kako bi se bolje shvatio flashover. [6]

Plameni udar ventiliranog prostora pod drugim nazivom flashover događa se na prijelazu između faze razvoja požara i razbuktale faze. Plinovi koji nastaju pirolizom gorivog materijala zagrijani su do temperature paljenja, a skupljaju pri stropu prostorije. Toplinska energija plinova i dima, radijacijom se prenosi na sav materijal koji se nalazi u prostoriji, te kad se dostigne određena temperatura, trenutno se zapali cjelokupni gorivi materijal u toj prostoriji (slika 3.4). Kako bi se taj proces mogao razviti, potrebna je dovoljna količina kisika, a to je obično omogućeno zbog pucanja stakla ili pregorjelih vrata. [7]



Slika 3.4 Prikaz flashover-a
Izvor: www.mercortecresa.com

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

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. [9]

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

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

3.3. Plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora - backdraft

Backdraft je poseban slučaj požara zatvorenog prostora i privremeni je događaj koji se može dogoditi kada se zrak unese u prostoriju u kojoj je došlo do gorenja u nedostatku kisika. [11] Plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora odnosno backdraft nastaje u prostoriji u kojoj se požar sam ugasio uslijed nedostatka kisika, jer nisu popucala stakla ili pregorjela vrata. U takvoj

se prostoriji nalaze zapaljivi plinovi u koncentraciji iznad gornje granice eksplozivnosti. Moguća su povremena tinjanja, no zbog nedostatka kisika ne mogu upaliti plinove. Otvaranje tog prostora dolazi svježi zrak koji spušta koncentraciju eksplozivnosti do područja eksplozivnosti, te ako postoji izvor paljenja, plinovi se zapale i dolazi do eksplozije. U ovoj fazi nastaju produkti suhe destilacije, a među opasnije se mogu ubrojiti sumporovodik, klorovodik, cijanovodik i kao najzastupljeniji ugljični monoksid. Nakon nekog vremena nema više plamena ali je prostorija prepuna zapaljivih plinova koji se ne mogu zapaliti jer nema kisika. Temperatura u prostoriji je nepromijenjena, ali s vremenom se počinje hladiti uslijed čega nastaje podtlak. Ako otvorimo vrata ili razbijemo prozor vidjet ćemo usisavanje zraka u prostoriju. Otvaranjem vrata prostorije, u prostoriju će se usisati zrak koji će se početi miješati sa zapaljivim plinovima. Čim mješavina zraka i produkata izgaranja uđe u području eksplozivnosti te dođe do izvora paljenja, u ovom slučaju to može biti žar iz žarišta požara, doći će do naglog paljenja vrućih produkata pirolize. Vrijeme od otvaranja vrata do plamenog udara nije moguće točno utvrditi, ono može iznositi nekoliko sekundi, ali i nekoliko minuta. Sve ovisi o tome kako će se brzo zrak miješati sa zapaljivim plinovima i kako će brzo ta eksplozivna smjesa doći do izvora paljenja. Nakon zapaljenja, vatrena fronta i udarni val krenuti će prema izvoru kisika i izbiti kroz otvor, odakle je ušao zrak. U tom trenutku nastaje backdraft (slika 3.5). [12]

Bilo koje djelovanje vatrogasaca pri kojem je omogućeno miješanje tih zapaljivih plinova sa zrakom, dovodi do naglog paljenja produkata pirolize u smjesi sa zrakom i naziva se backdraft.

Opasnost od backdrafta prvenstveno postoji pri otvaranju prostorije ako se požar nalazi u svojoj kasnijoj fazi. Postoji nekoliko karakteristika kojima možemo okarakterizirati nadolazeći backdraft:

- trajanje požara - ako postoji sumnja da je požar u zatvorenoj prostoriji otkriven jako kasno, postoji mogućnost za plameni udar,
- dim - prozori zatvoreni dimom i čađom, kao i dim koji na udare izlazi kroz prozore, daljnji su predznak plamenog udara,
- kvake na vratima- topla, odnosno vruća kvaka na ulaznim vratima daje naslutiti da je iza vrata još toplije ili da je neposredno prije bilo vruće,
- usisavanje zraka - ako se nakon otvaranja vrata uoči usisavanje zraka, tada će najvjerojatnije doći do plamenog udara. [13]



*Slika 3.5 Prikaz backdraft-a
Izvor: YouTube kanal*

Eksplוזija uzrokovana backdraftom može ubiti ili ozlijediti vatrogasce na nekoliko načina. Eksplוזija može odbaciti vatrogasca preko ulice; leteće staklo i geleri mogu obezglaviti vatrogasca; plamen praćen eksplozijom može izazvati ozbiljne opekline, a eksplozija može srušiti zidove, pregrade i željezne rolete, zdrobivši vatrogasce ispod njih. [14]

3.4. Eksplozije ili zapaljenja požarnih plinova

Flashover i backdraft dva odvojena događaja, što znači da za nastanak istih trebaju biti zadovoljeni različiti uvjeti. Međutim, postoje situacije u kojima može doći do paljenja požarnih plinova u prostorima u kojima isti nisu nastali. Takve situacije nisu povezane ni s kojim od spomenutih događaja, ali imaju vrlo sličan učinak. Razvijanje požarnih plinova može se dogoditi unutar zgrade. Požarni plinovi, mogu se naći unutar gorućeg prostora zgrade, susjednim prostorijama, ulaznim hodnicima (veže ili okna) i hodnicima. Oni se mogu gibati, udaljiti od izvora požara, kroz građevinske šupljine ili u potkrovne prostore. Dotok zraka nije uvjet za paljenje tih plinova čija je koncentracija već u okvirima eksplozivnosti, već je jednostavno dovoljan izvor paljenja. Pojavi li se neki izvor paljenja, eksploziju koja će uslijediti moguće je usporediti s backdraftom, ali se ipak radi o „eksploziji požarnih plinova“ koncentriranih u nastalom dimu. Paljenje zagrijanih požarnih plinova moglo bi se dogoditi i na mjestu gdje se oni miješaju sa

zrakom, odnosno na mjestu njihova izlaska iz gorućeg prostora. To se može dogoditi kod prozora ili ulaznih vrata, a rezultirajuća vatra može se vratiti u prostoriju povratnim gorenjem kroz dimni sloj. Neupućeni će teško razlikovati eksploziju požarnih plinova i backdraft. Za razliku od backdrafta i flashovera, koji se događaju unutar (ili iz) opožarenog prostora, eksplozija požarnih plinova događa se u izdvojenim prostorima. [3]

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

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

Osobna zaštitna oprema.

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

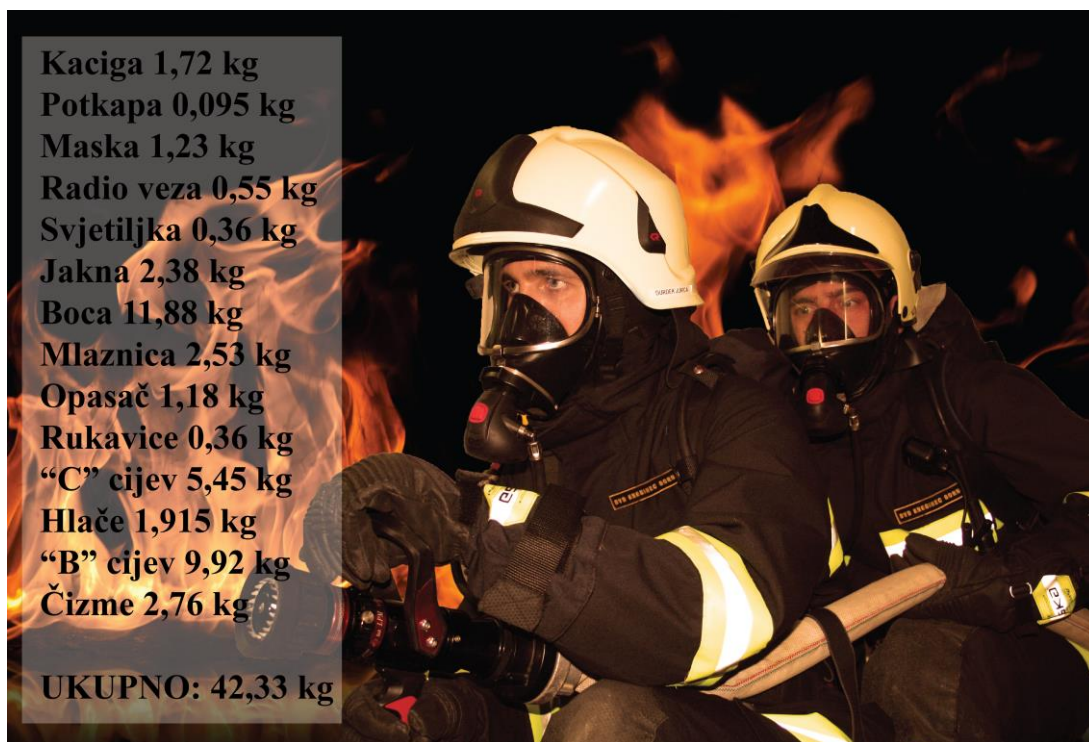
- odijelo za prilaz vatri,
- vatrootporne čizme,
- zaštitna kaciga s štitnikom za vrat,
- rukavice, zaštitna maska, podkapa.

Skupna zaštitna oprema.

U skupnu opremu koju koristimo pri požaru zatvorenog prostora ubrajamo:

- penjačko i radno uže, aparati za zaštitu dišnih organa,
- dozimetri i detektori te pribor za dekontaminaciju,
- eksploziometar,
- akumulatorska svjetiljka u sigurnosnoj izvedbi,
- druga potrebna oprema.

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



*Slika 3.6 Težina opreme vatrogasca
Izvor: autor*

4. ANALIZA POSTOJEĆIH SIMULATORA PLAMENIH UDARA U HRVATSKOJ

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

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

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

- Vatrogasna zaštitna jakna,
- Vatrogasne zaštitne hlače,
- Potkapa višeslojna,
- Vatrogasne zaštitne čizme,
- Vatrogasna kaciga (bez vanjskog vizira) s zaštitom za vrat,
- Uređaj za zaštitu organa za disanje (izolacioni aparat na komprimirani zrak),
- Lagane radne hlače ili pamučna trenirka. [15]

4.1.Plinski simulator plamenih udara

Simulator kao agregat koristi plin propan u optimalnim količinama u odnosu na objekt, te tako pruža siguran ambijent za učenje vatrogasaca o razvoju požara u zatvorenom prostoru. Uređaj za simulaciju požara opremljen je softverom za upravljanje te kontrolu i sigurnost.



*Slika 4.1 Plinski simulator u učilištu Državne uprave za zaštitu i spašavanje
Izvor: autor*

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.

Simulator 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 propanbutanom, prikolica-vozno postolje. Sigurnosni uređaji smješteni su na samim požarištima i u okolnim tehničkim sobama kako bi se u svakom trenutku kontrolirao cijeli sustav. U slučaju npr. prevelike temperature ili smjese zraka i plina koja je prešla 25% DGE cijeli sustav automatski započinje sa sigurnosnim gašenjem koje se sastoji od provjetravanja u nuždi, zaustavljanja dotoka plina, isključivanja svih požarišta i generatora dima, trenutnog provjetravanja od dima i plina u prostoru za vježbanje s maksimalnim učinkom ventilatora. Kontrolna soba je smještena u sredini tako da instruktori imaju pregled nad svim požarištima. [16]

4.2. Simulator na kruta goriva

Izrađen je od dva brodska kontejnera, od kojih je jedan za promatranje, a drugi za stvaranje požara. Međusobno su spojeni, na način da je kontejner za požar postavljen 0,5 m više od kontejnera za promatranje. Simulacija požara započinje paljenjem suhih drvenih paleta bez ikakvih premaza. Nakon što je vatra zapaljena, vatrogasci ulaze u kontejner sa svom potrebnom zaštitnom opremom, te sjedaju uz lijevu i desnu stjenku simulator. 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. U takvom simulatoru polaznici uvježbavaju rad s mlaznicama, komuniciranje u prostoru, promatranje razvoja požara kroz faze, promjenu uvjeta u prostoriji koja je zahvaćena požarom – povećanje dima i temperature, uočavanje i prepoznavanje predznaka plamenih udara, promatranje flashovera, blokiranje flashovera, taktiku unutarnje navale. [16]

Važno je napomenuti da se u simulatoru razvijaju temperature do 150°C pri dnu, kod glave vatrogasaca do 300°C, 650°C pri vrhu, te 1200°C u samom ložištu. [17]



*Slika 4.2 Simulator plamenih udara na kruta goriva
Izvor: www.dvd-makarska.hr*

Tempo i napor obuke u simulatoru plamenih udara na kruta goriva je intenzivan. Na svakoj obuci prisustvuje 6 instruktora: instruktor zapovjednik (stoji izvan simulatora, vodi brigu o kompletnom vježbalištu, satnici, polaznicima, opremi, instruktorima...), instruktori broj jedan, tri i pet (instruktori koji verbalno vode cijelu obuku u simulatoru ukazujući na sve one teorijske

čimbenike koji su vidljivi u praksi, a isti se izmjenjuju svakih nekoliko minuta) te instruktori broj dva i četiri (instruktor koji je u simulatoru, „desna ruka“ instruktoru broj jedan te koji drži sigurnosni mlaz). S obzirom da je sama obuka izrazito naporna, a s ciljem što veće prakse polaznika, ona se provodi sa 14 do 16 polaznika. Obuka traje 2 dana i polaznici ne smiju izostati niti s jednog predavanja. Prvog dana edukacije provode se teorijska predavanja koja uključuju uvodni sat, općenite informacije o gorenju i gašenju, faze požara, vrste navala, flashover i backdraft, mjere sigurnosti. U praktičnim dijelu uče se mjere sigurnosti u simulatoru plamenih udara, rad s mlaznicama i rad na flashover kutiji. Tijekom drugog dana edukacije, u praktičnom dijelu usvaja se rad s mlaznicama, 4 ulaska u simulator plamenih udara od kojih je svaki s drugačijim ciljem. U teorijskom dijelu usvaja se „čitanje dima“ jer se, primjerice po boji dima, može predvidjeti daljnji tijek razvoja požara. Ovakav način obuke polaznicima predstavlja najbolji način prikaza stvarnosti. [18]

4.3.Usporedba postojećih simulatora

Prednosti plinskog simulatora:

- u slučaju opasnosti vatra se može brzo ugaziti zatvaranjem dovoda goriva,
- ponavljanje simulacija može se izvesti relativno brzo jer nema potrebe za punjenjem goriva,
- javljaju se manje količine dima koje onečišćuju okoliš,
- otrovni produkti izgaranja su prisutni u malim količinama.

Nedostaci plinskog simulatora:

- kvar uređaja za kontrolu može dovesti do akumuliranja eksplozivne smjese zraka i plina,
- simulacija požara nije potpuno realistična zbog nedostatka dima,
- produkti izgaranja su otrovni,
- osjetljiv je na hladnoću zbog smrzavanja plinskih instalacija,
- veći su troškovi zbog uporabe samog goriva i održavanja ispravnosti plinskih instalacija,
- postoji mogućnost stradavanja,
- obavezo korištenje skupocjene zaštite.

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),
- 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 napora i vrijeme kako bi simulator ponovo napunio gorivom,
- produkti izgaranja su vrlo otrovni,
- osobna zaštitna oprema i ostala vatrogasna oprema nakon treninga u simulatoru zahtijeva dekontaminaciju zbog zadržavanja ugljičnog monoksida,
- kod svakog simuliranja, zaštitna oprema gubi svoja svojstva i te se može u potpunosti oštetiti,
- postoji mogućnost stradavanja,
- obavezo korištenje skupocjene zaštite.

4.4. 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° C. [19]

Prilikom ispitivanja svim ispitanicima mjerena je tjelesna temperatura, krvni tlak, pokazatelji plućne funkcije, indeks tjelesne mase i stupanj oštećenja DNA. Mjerenja su pokazala visoku pretilost te povišene vrijednosti krvnog tlaka prije obuke. Dobrovoljnih vatrogasci u odnosu na

profesionalne vatrogasce imali su veći porast srčane frekvencije i temperature nakon odrađene obuke. Sistolički krvni tlak nije se značajnije mijenjao tijekom obuke u simulatoru, dijastolički krvni tlak blago se snizio, a pokazatelji plućne funkcije su blago porasli u obje grupe, što ukazuje da obuka u simulatoru dovodi do očekivanog fiziološkog odgovora kardiovaskularnog i dišnog sustava na fizički i termalni stres 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 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 $1,1^{\circ}\text{C}$, a dobrovoljni vatrogasci su imali za $0,33^{\circ}\text{C}$ veći prosječni porast tjelesne temperature od profesionalnih vatrogasaca. Broj otkucaja srca porastao je prosječno za 30 u minuti, a u dobrovoljnih vatrogasaca bio je prosječno za 5 otkucaja u minuti veći nego u profesionalnih. Pokazatelji plućne funkcije porasli su tijekom obuke u simulatoru prosječno za 4%. Dodatno su mjerene razine primarnog i oksidativnog oštećenja DNK stanica periferne krvi, kao pokazatelja eventualnog genotoksičnog učinka fizičkog napora i toplinskog stresa tijekom obuke u simulatoru. Kod ispitanika nije utvrđen značajan porast primarnih oštećenja DNK, kao niti pojava oksidativnih oštećenja DNK u stanicama periferne krvi tijekom obuke u simulatoru. Rezultati ukazuju kako obuka u simulatoru dovodi uglavnom do blagog porasta tjelesne temperature 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. [19]

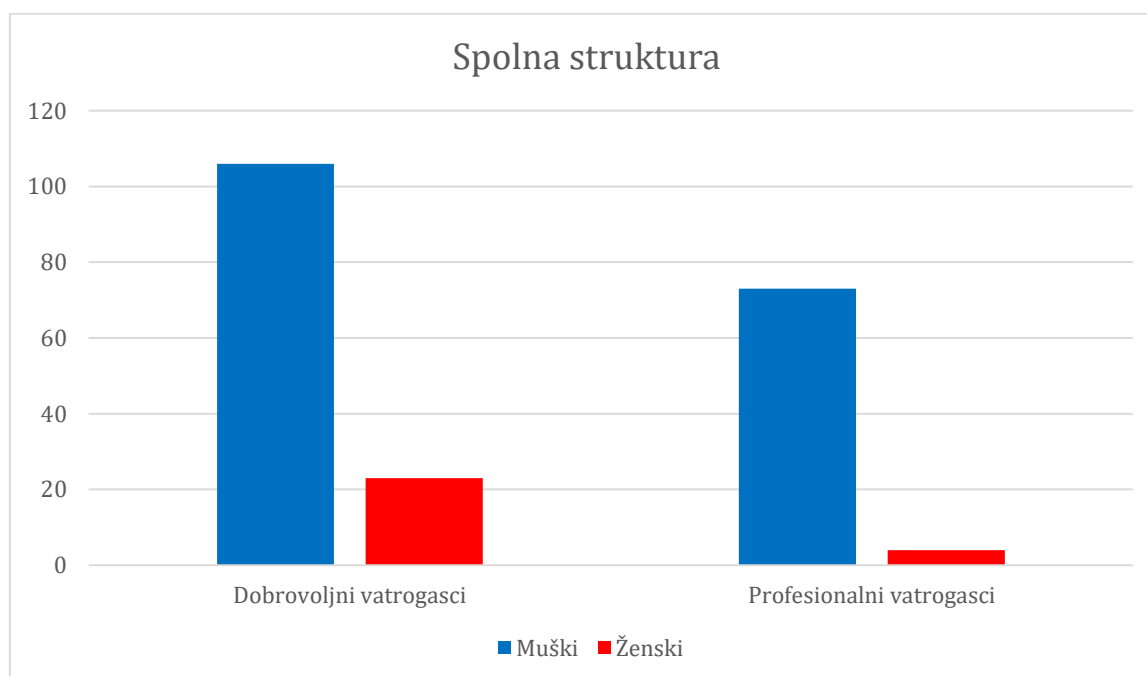
5. ANKETNO ISTRAŽIVANJE

Za potrebe izrade ovog rada, provedena su anketna istraživanja u kojima su sudjelovala ukupno 206 ispitanika.

U periodu od 1.-10. kolovoza 2020. godine, obavljeno je online anketiranje vatrogasaca preko Google Forms aplikacije.

Od ukupno 206 ispitanika, anketom je obuhvaćeno 129 dobrovoljnih vatrogasaca i 77 profesionalnih vatrogasaca s područja cijele Hrvatske.

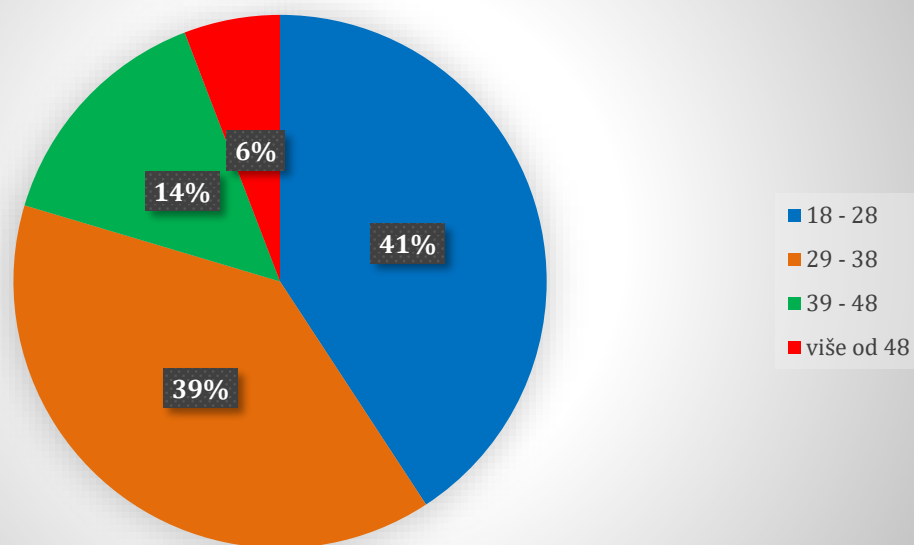
Prema spolnoj strukturi u dobrovoljnom vatrogastvu anketirano je 106 vatrogasaca i 23 vatrogaskinja, dok je u profesionalnom vatrogastvu anketirano 73 vatrogasaca i 4 vatrogaskinje. Iz navedenog proizlazi da je u dobrovoljnom vatrogastvu uključeno znatno veći broj ženskih osoba u odnosu na profesionalno vatrogastvo.



*Grafikon 5.1 Prikazuje spolna struktura ispitanika
Izvor: izrada autora*

Gledajući dobnu strukturu ispitanika, 41% ima 18 – 28 godina (55 dobrovoljnih vatrogasaca, 29 profesionalnih vatrogasaca), 39% ima od 29 – 38 godina (49 dobrovoljnih vatrogasaca, 31 profesionalnih vatrogasaca), 14% ima od 39 – 48 godina (20 dobrovoljnih vatrogasaca, 10 profesionalnih vatrogasaca), dok više od 48 godina ima 6% ispitanika (5 dobrovoljnih vatrogasaca, 7 profesionalnih vatrogasaca).

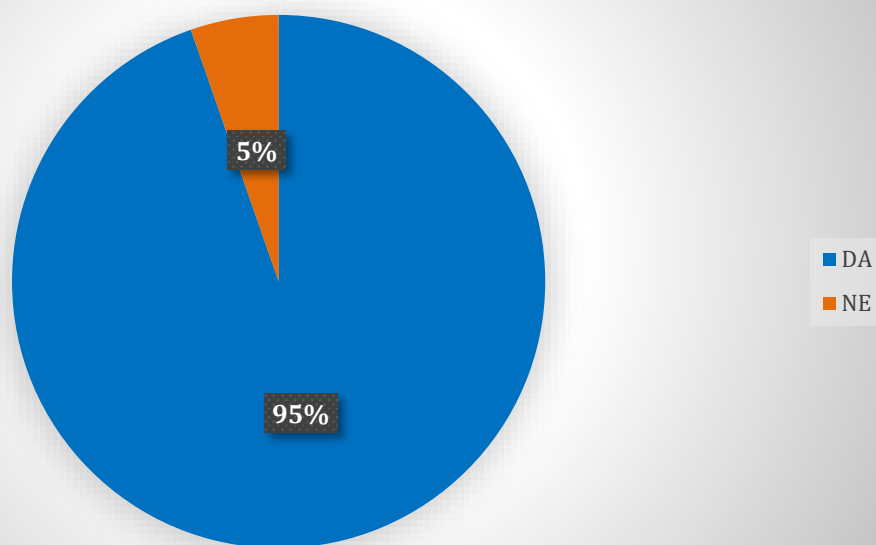
Dobna struktura ukupno



Grafikon 5.2 Prikazuje dobnu struktura ispitanika
Izvor: izrada autora

Promatrajući provođenje teorijske i praktične nastave u dobrovoljnim vatrogasnim društvima te u javnim vatrogasnim postrojbama, vidljivo je da se u velikom postotku (95%) provodi nastava u obje organizacije. Iako se može konstatirati da se javnim vatrogasnim postrojbama provodi nastava kod svih ispitanika odnosno 100%, jer su četvorica ispitanika, iako su profesionalni vatrogasci, zaposleni u dobrovoljnim vatrogasnim društvima gdje se ne provodi nastava.

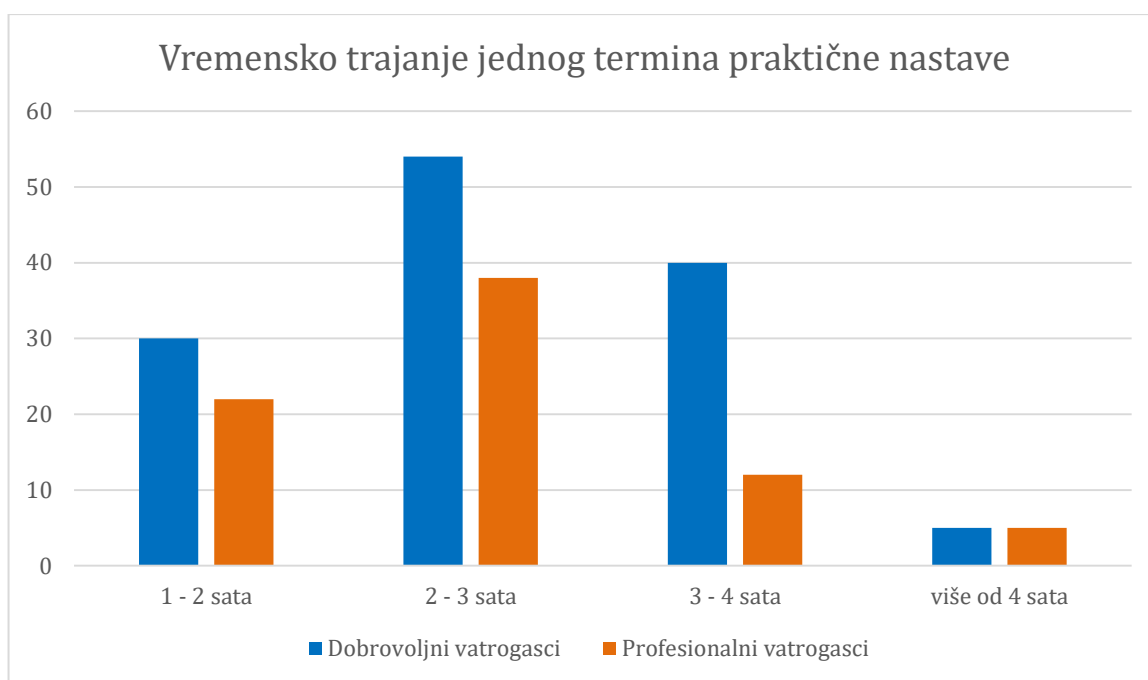
Provođenje teorijske i praktične nastave



Grafikon 5.3 Prikazuje provođenje teorijske i praktične nastave
Izvor: izrada autora

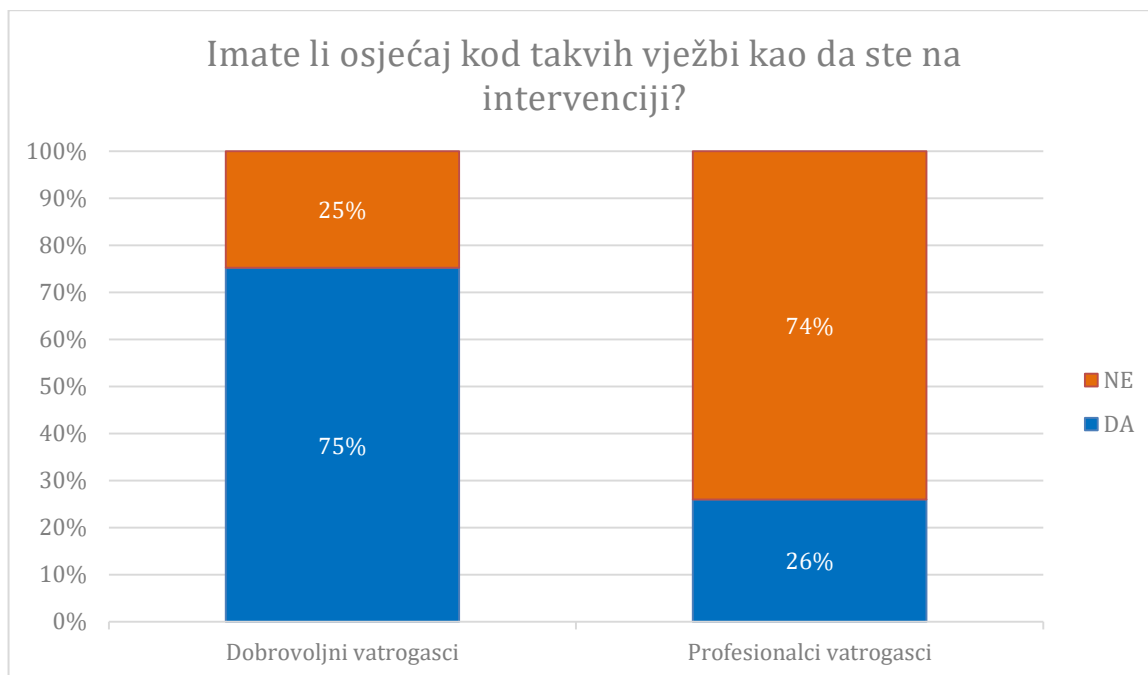
Prema anketnom pitanju o dužini vremenskog trajanja jednog termina praktične nastave, 45% svih ispitanika izjasnilo se da po terminu potroše 2 - 3 sata, dok se po 25% posto ispitanika izjasnilo da jedan termin nastave traje 1 - 2 sata, odnosno od 3 – 4 sata. Samo 5% ispitanika izjasnilo se da im praktična nastava traje više od 4 sata po jednom terminu.

Gledajući grafički prikaz možemo vidjeti da čak 40 ispitanih dobrovoljnih vatrogasaca u odnosu na 12 profesionalnih vatrogasaca provodi praktičnu nastavu od 3 – 4 sata. Time dolazimo do zaključka da dobrovoljni vatrogasci znatno više vremena utroše na osposobljavanje.



*Grafikon 5.4 Prikazuje vremensko trajanje jednog termina praktične nastave
Izvor: izrada autora*

Prilikom uvježbavanja vatrogasaca, koriste se standardne vježbe kod kojih nema pretjerane opasnosti od ozljeđivanja vatrogasaca, visoke temperature, opasnost od eksplozije ili urušavanja. Na pitanje da li kod takvih vježbi vatrogasac ima osjećaj kao da je na intervenciji, 75% dobrovoljnih vatrogasaca odgovorilo je da se kod vježbanja na standardni način osjećaju kao na intervenciji, dok se njih 25% izjasnilo da vježbe nisu toliko realistične. Što se tiče profesionalnih vatrogasaca, rezultati su gotovo suprotni. Njih 74% smatra da vježbe ne stvaraju osjećaj kao kada su na intervenciji.

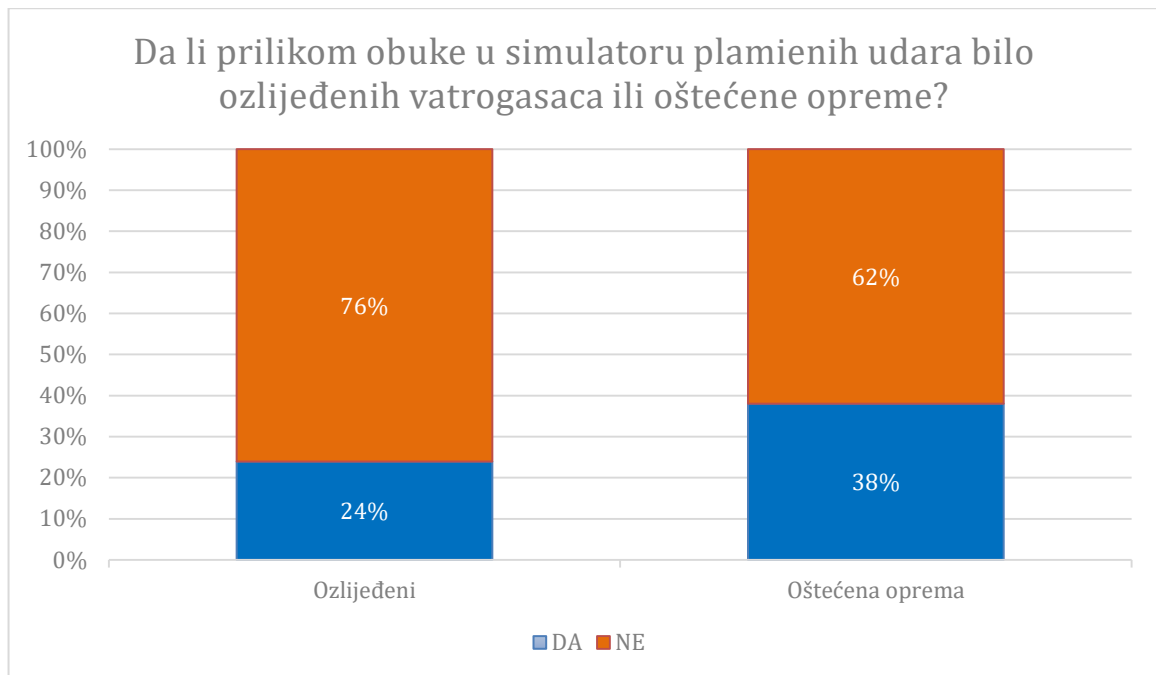


*Grafikon 5.5 Prikazuje da li vatrogasci prilikom vježbi imaju osjećaj kao da su na intervenciji
Izvor: izrada autora*

Isto tako, 95% dobrovoljnih vatrogasaca odnosno 68% profesionalnih vatrogasaca smatra da se nakon takvih obuka može kvalitetnije i sigurnije pristupiti u realnim situacijama dok 5% dobrovoljaca i 32% profesionalaca dijeli drugačije mišljenje.

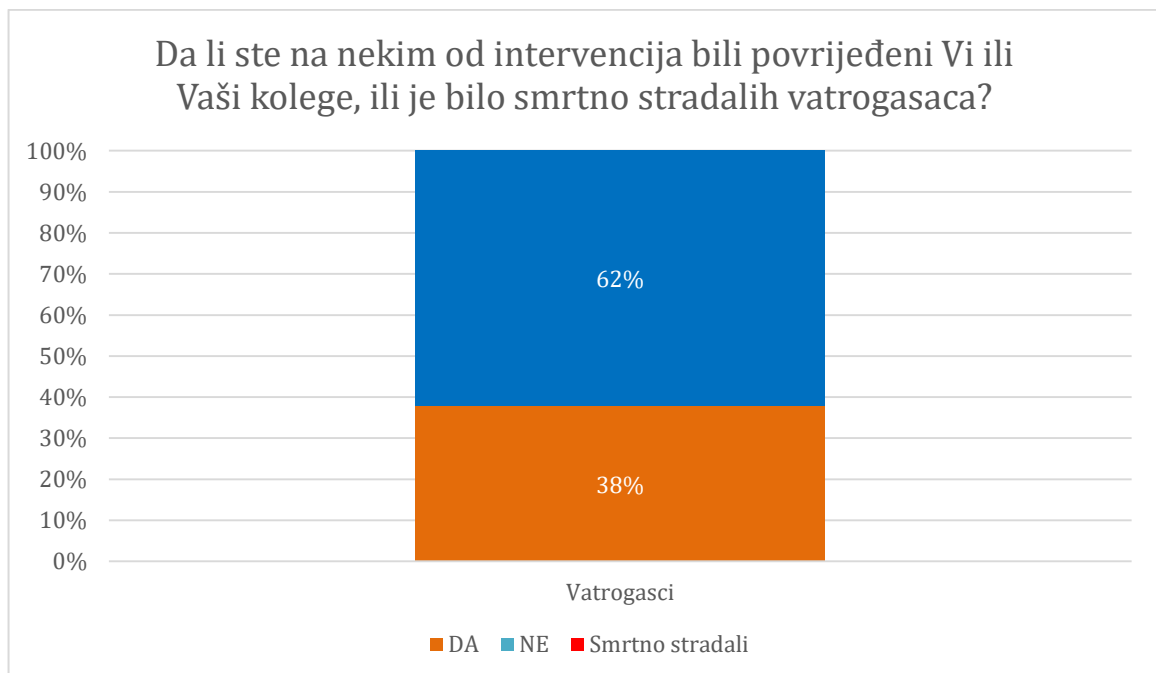
Od svih ispitanika, njih 71 (34%) prošlo je obuku u simulatoru plamenih udara. Obuka u simulatoru plamenih udara je specifična, po tome što vatrogasac za pristupanje obuci mora imati zdravstveno uvjerenje, vatrogasni ispit te kompletnu zaštitnu opremu uključujući i izolacioni aparat. Zbog svega navedenog, te visoke cijene obuke, mali broj vatrogasaca se odlučuje na ovu vrstu obuke.

Tijekom provedbe obuke u simulatoru plamenih udara, uslijed visokih temperatura koje se razvijaju u samom simulatoru, 24% ispitanika zadobilo je opekline za koje nije bila potrebna liječnička pomoć, dok je ostalih 76% ispitanika obuku završilo bez ozljeda. Također, prilikom obuke, 38% ispitanika oštetilo je svoju osobnu zaštitnu opremu (vatrogasno odijelo, rukavice...), a ostalih 62% ispitanika nije imalo oštećenja na opremi.



*Grafikon 5.6 Prikazuje postotak ozlijeđenih vatrogasaca i oštećene opreme prilikom obuke u simulatoru plamienih udara
Izvor: izrada autora*

Na intervencijama na kojima su do sada sudjelovali ispitanici, njih 27% imalo je naznaku opasnosti od plamenog udara ili se isti dogodio. Od toga je 51% slučajeva bilo kod profesionalnih vatrogasaca. Isto tako, na svim dosadašnjim intervencijama koje su imali ispitanici, njih 38% se izjasnilo da su bili povrijeđeni oni sami ili netko od njihovih kolega. Smrtno stradalih nije bilo.



*Grafikon 5.7 Prikazuje postotak ozlijeđenih vatrogasaca na intervencijama
Izvor: izrada autora*

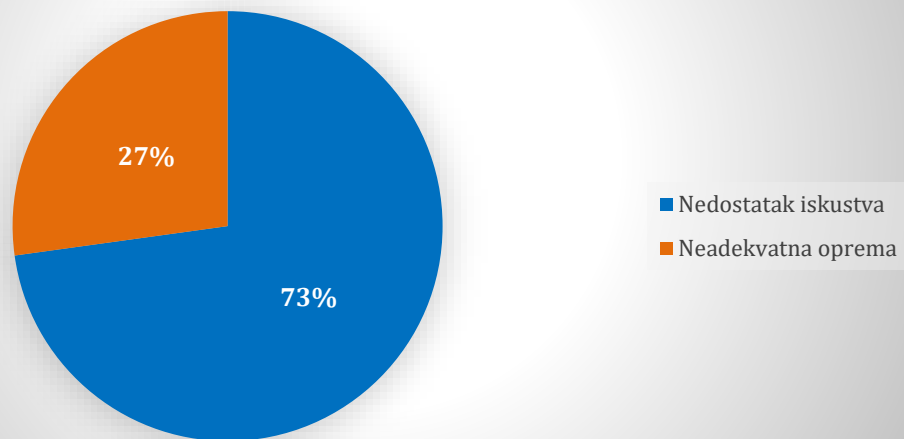
Zvanje vatrogasac predstavlja sudjelovanje u provedbi preventivnih mjera zaštite od požara i tehnoloških eksplozija, gašenje požara i spašavanje ljudi i imovine ugroženih požarom i tehnološkom eksplozijom, pružanje tehničke pomoći u nezgodama i opasnim situacijama te obavljanje drugih poslova u nesrećama, ekološkim i inim nesrećama, a provodi se na kopnu, moru, jezerima i rijekama. Slijedom navedenog vrlo je bitna osposobljenost samog vatrogasca, kako bi prvenstveno na siguran način za sebe mogao spašavati ljude i njihovu imovinu. Kod školovanja za zvanje vatrogasac ili vatrogasni tehničar, stiče se puno teorijskog i praktičnog znanja, no usprkos svemu, prilikom interveniranja dolazi do ozljeđivanja, uništavanja opreme.

Opasnosti koje im prijete prilikom obavljanja svoje djelatnosti mogu biti mehaničke (udar o različite predmete i objekte na terenu, oštri predmeti i objekti, nekontrolirano odlijetanje predmeta, rukovanje ručnim alatima) od kojih nastaju nagnječenja, porezotine i rane. Uslijed pada predmeta i objekata, pada na ravnini, s povišenog i u dubinu, poskliznuće, spoticanje, izvrnuće, krivi nagaz zbog klizavosti, zakrčenosti ili neravnog terena može doći do uganuća, nagnječenja, iščašenja, prijelomi ili višestruke ozljede. Također veliku opasnost predstavlja udar električne energije koja može izazvati električni šok (gubitak svijesti, grčenje mišića, opekline), trajne posljedice (oštećenje mozga, sluha, ravnoteže...), a u najgorem ishodu i smrt. Požar i eksplozije mogu izazvati opekline od I.-IV. stupnja. Osim opeklina, požar predstavlja i mnoge druge štetnosti kao što su kemijske tvari (plinovi i drugi kemijski spojevi nastali kao produkt sagorijevanja), biološke štetnosti (prijenos krvlju, ubodi, onečišćenja rana) djelovanje povišenih temperatura. [20]

Prema statističkim podacima Američke uprave za vatrogastvo, u razdoblju od 12. siječnja 2008. do 19. listopada 2019. godine, prilikom provođenja raznih obuka, život je izgubilo 109 vatrogasaca, dok je u razdoblju od 2. siječnja 2009. godine do 31. prosinca 2018. godine ukupno preminulo 928 vatrogasaca, od čega 475 dobrovoljnih vatrogasaca. Najčešći uzroci smrti bili su srčani udar, traume, gušenje i opekline. [21]

Prema provedenoj anketi, najveću opasnost predstavlja nedostatak iskustva što je potvrdilo 73% ispitanika, preostalih 27% smatra da je najveća opasnost neadekvatna oprema, odnosno slaba opremljenost vatrogasaca.

Što na intervencijama predstavlja najveću opasnost?



Grafikon 5.8 Prikazuje odgovore na pitanje što na intervencijama predstavlja najveću opasnost?
Izvor: izrada autora

6. VIRTUALNI INTERAKTIVNI SIMULATOR

Pojam virtualno u definiciji virtualne stvarnosti označava stanje umjetne stvarnosti u kojem se čovjek osjeća kao u realnosti iako je to stanje umjetno stvoreno. Dakle virtualnost predstavlja pojam nečeg što nije realno, odnosno nije prisutno u fizičkom smislu ali prikazuje imaginarnu ili realnu stvarnost koja se može iskusiti ljudskim osjetilima uključujući vid, dodir, sluh i njuh. [22]

Virtualna stvarnost danas je skoro sveprisutna, te se sve više koristi u poslovne svrhe. U vojsci je izuzetno korisno za treniranje vojnika kako bi naučili i stekli vještine u borbenim i ostalim opasnim situacijama. Koristi se za učenje borbenih letova i upravljačkih manevara, a time se pilotima omogućava siguran trening bez rizika od smrti ili uništenja aviona.

Također, virtualna stvarnost sve se više koristi i u medicini, gdje primjerice neurokirurzi razvijaju svoje vještine, stječu smirenost, pribranost i preciznost koja je neophodna za obavljanje njihovog posla. Nekada se obuka prolazila na leševima, što i nije baš bilo praktično. NeuroVR simulator je opremljen s više od 30 modula, koji kirurzima omogućuju opsežan raspon vježbi. Sustav je opremljen dvama haptičkim uređajima za ruke koji pružaju povratnu silu, te na taj način pružaju kirurzima privid stvarne operacije. Kao dodatna pomoć koriste se audio efekti kao sredstvo upozorenja. [23]

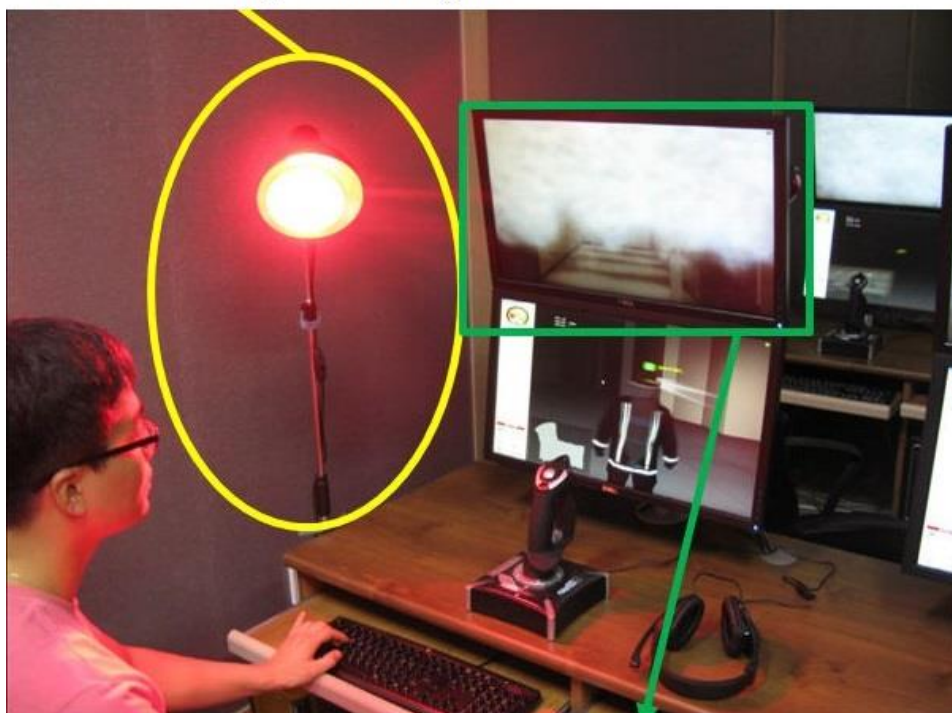
Već od ranije postoje računalne igre u kojima se simuliraju radnje u gašenju požara u smislu da se pravilnim odabirom sredstva za gašenje može pogasiti požar. Razvojem računalne opreme i video igara polako se krenulo sa izradom ozbiljnih računalnih igara gdje se uz pomoć virtualnih naočala pokušava dočarati realističnije okruženje i pojedini segmenti gašenja.



*Slika 6.1 Primjer simulacije gašenja požara uz pomoć virtualnih naočala
Izvor: YouTube kanal*

Bilo je niz ranijih projekata za razvoj vatrogasne obuke u virtualnom okruženje (slika 6.1 i 6.2). Neki projekti imali su za cilj osposobljavanje i ocjenjivanje vatrogasaca [24] [25] [26], dok su neki projekti imali za cilj obrazovanje svih zainteresiranih, poput djece [27].

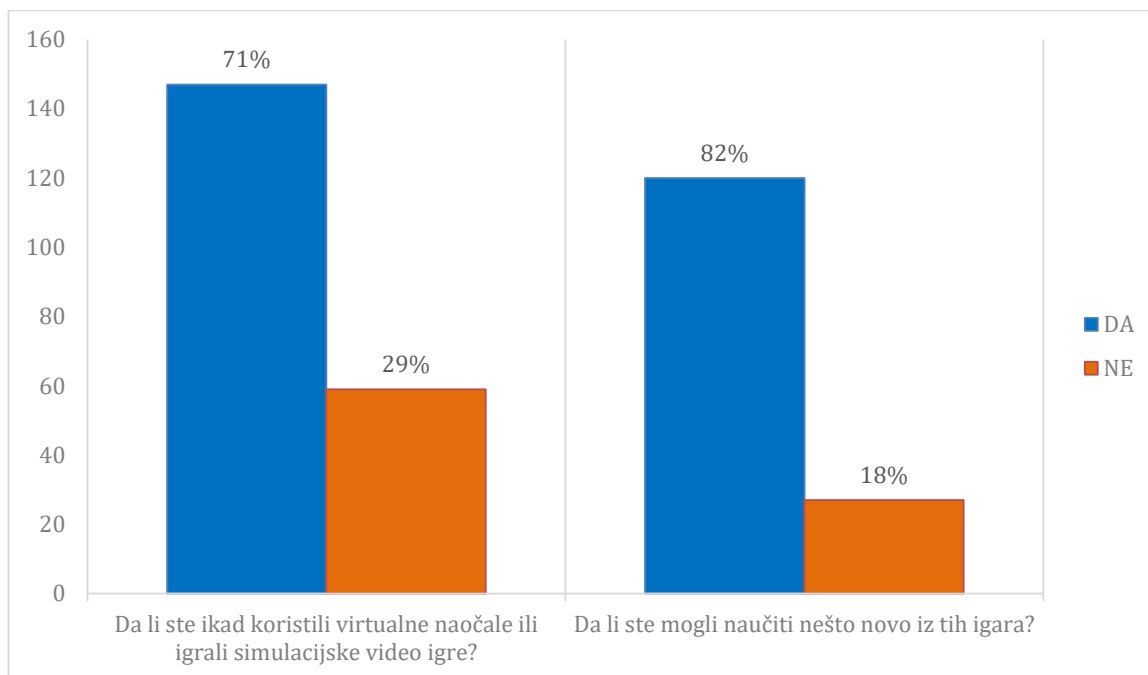
Infracrvena žarulja simulira toplinu



Prikaz scene

*Slika 6.2 Primjer prvih VR simulacija za osposobljavanje
Izvor: [24]*

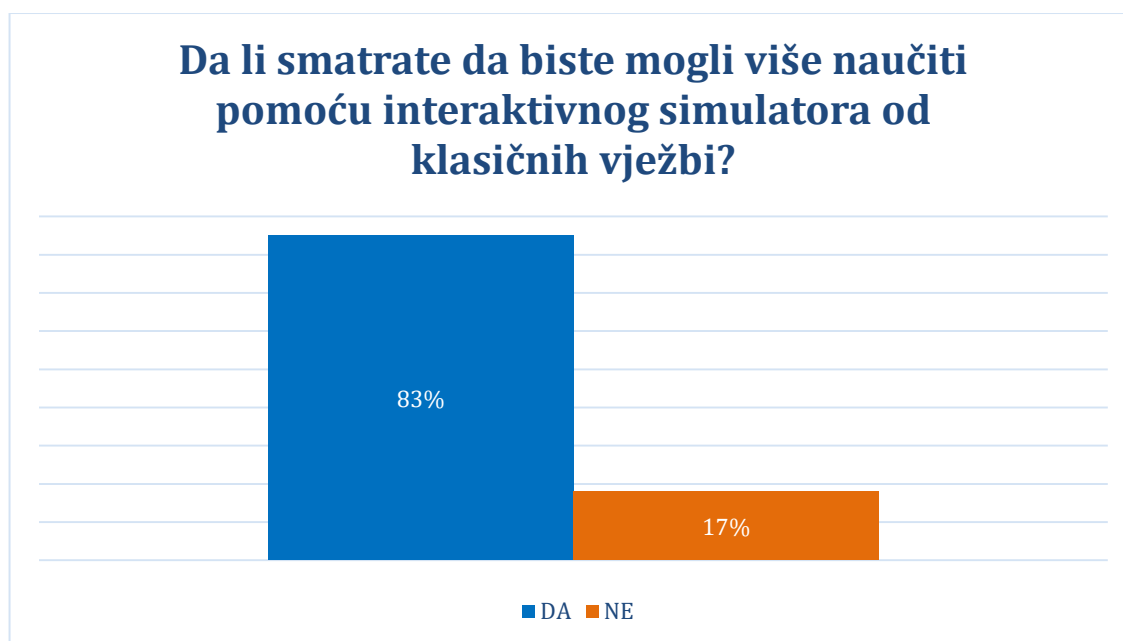
Provedenom anketom ispitanika, na pitanje dali su igrali simulacijske video igre ili se koristili virtualnim naočalima, 147 (71%) ispitanika se izjasnilo pozitivno, odnosno njih 59 (29%) izjasnilo se negativnim odgovorom na postavljeno pitanje. Od njih 147 ispitanika koji su odgovorili da su igrali simulacijske video igre ili su se koristili virtualnim naočalima, čak njih 82% izjasnilo se da je naučilo nešto novo iz navedenih igara. Ovako visok postotak, potvrđuje da simulacijske video igre nisu samo igre za zabavu već da se iz njih može naučiti.



*Grafikon 6.1 Prikazuje ukupan postotak ispitanika na pitanje da li su ikad koristili virtualne naočale ili igrali simulacijske video igre, te dali su iz toga mogli naučiti
Izvor: izrada autora*

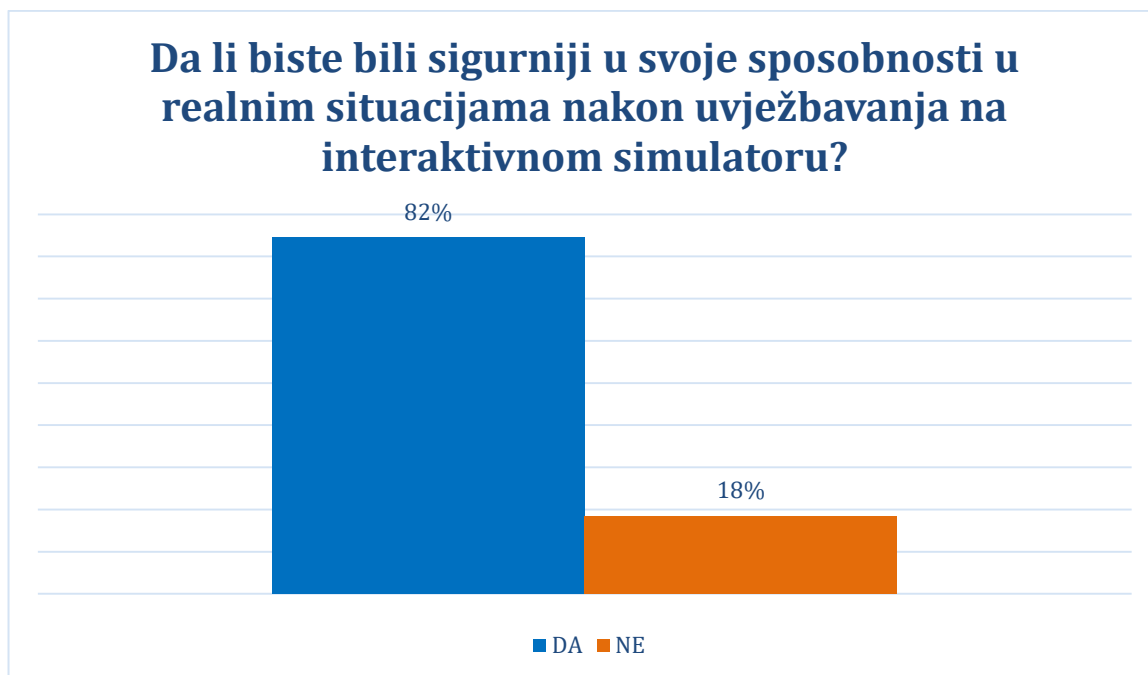
Druga grupa pitanja odnosila se na korištenje virtualnog interaktivnog simulatora. Na početku drugog dijela ankete, detaljno je opisan način i rad virtualnog interaktivnog simulatora, kako bi svaki ispitanik dobio dojam o funkcioniranju istog.

Prikupljenim podacima, vidljivo je da 83% (170) ispitanika smatra da bi mogli više naučiti pomoću virtualnog interaktivnog simulatora od provođenja klasičnih vježbi, dok njih 17% (36) smatra da se ipak više može naučiti provođenjem klasičnih vježbi.



*Grafikon 6.2 Prikazuje postotak ispitanika koji smatraju da bi više naučili pomoću virtualnog interaktivnog simulatora od klasičnih vježbi
Izvor: izrada autora*

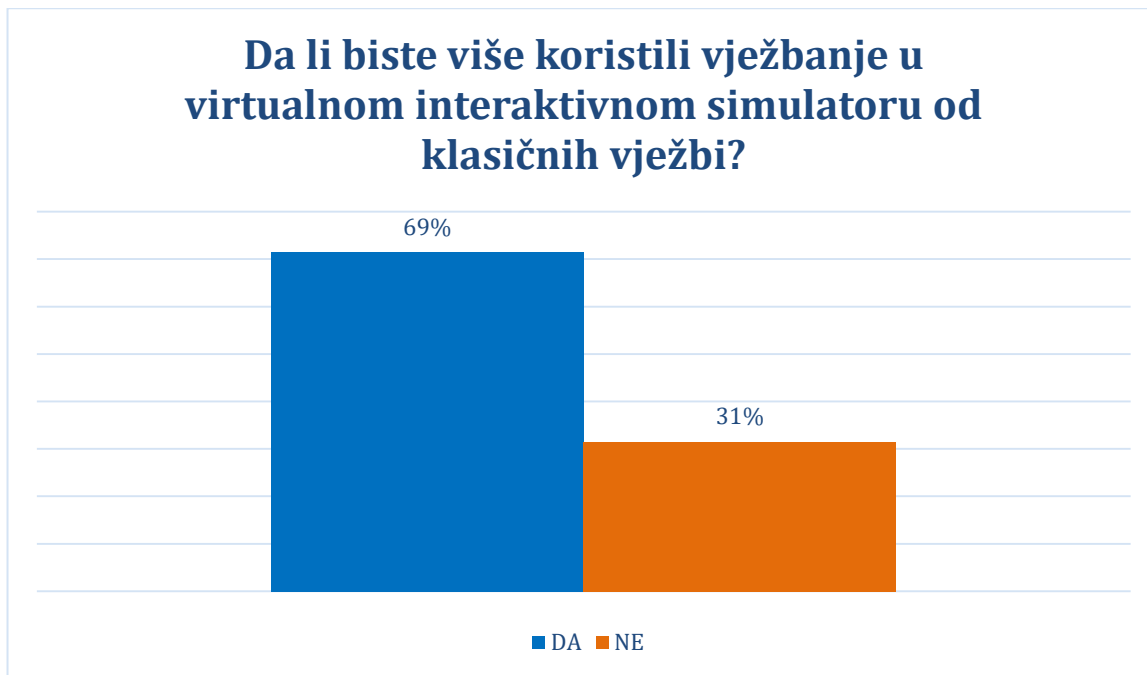
Isto tako, 82% (169) ispitanika smatra da bi bili sigurniji u svoje sposobnosti u realnim situacijama nakon uvježbavanja na virtualnom interaktivnom simulatoru, dok se njih 18% (37) ne slaže s tom tezom.



*Grafikon 6.3 Prikazuje koliko bi ispitanika bilo sigurnije u svoje sposobnosti u realnim situacijama nakon uvježbavanja na virtualnom interaktivnom simulatoru
Izvor: izrada autora*

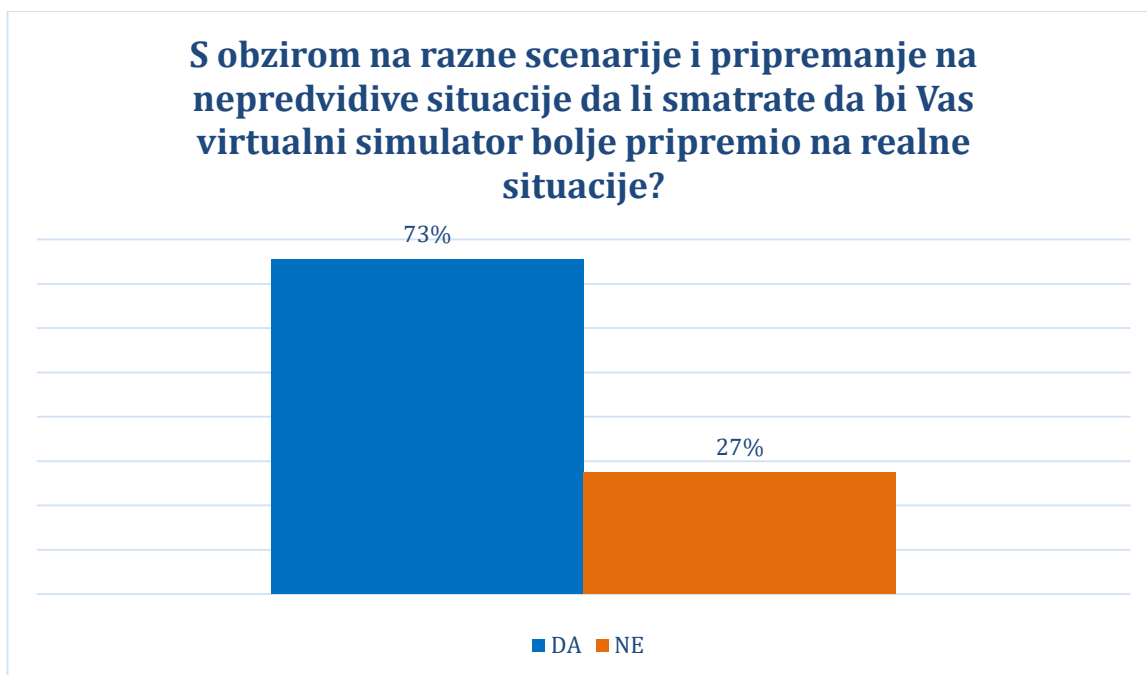
Budući da se radi o novoj tehnologiji, koja je u početnoj fazi razvoja, postavlja se pitanje koliko je ispitanika spremno koristiti uvježbavanje u novom virtualnom interaktivnom simulatoru u odnosu na klasičnu praktičnu nastavu.

Istraživanje je pokazalo da bi se 69% (143) ispitanika radije uvježbavalo u virtualnom interaktivnom simulatoru, dok bi njih 31% (63) ostalo na klasičnom uvježbavanju.



Grafikon 6.4 Prikazuje omjer korištenja virtualnog interaktivnog simulatora u odnosu od klasičnih vježbi
Izvor: izrada autora

Budući da virtualni interaktivni simulator ima razne scenarije, koje je moguće pomoću raznih parametara mijenjati i prilagođavati stvarnim situacijama i na taj način pripremiti vatrogasca na nepredvidive situacije, 73% (151) ispitanika smatra da bi se upravo na takvom simulatoru bolje pripremili na realne situacije i opasnosti koje im prijete.



Grafikon 6.5 Prikazuje odnos koliko bi bili spremniji na realne situacije korištenjem virtualnog interaktivnog simulatora
Izvor: izrada autora

Analiziranjem provedenog istraživanja, u kojem više od 80% ispitanika smatra kako bi virtualnim interaktivnim simulatorom mogli kvalitetnije i više naučiti o prepoznavanju plamenih udara, ali i o ostalim opasnostima i taktikama gašenja, a uzimajući u obzir prednosti i nedostatke postojećih vrsta simulatora plamenih udara predlaže se izrada novog simulatora koji bi bio izrađen korištenjem suvremenih tehnologija, a prvenstveno bi upotreba takvih simulatora bila sigurna za polaznike i okoliš.

S obzirom na kompleksnost simulacije, a kako bi se zadovoljili svi uvjeti ostvarivanja stvarnog doživljaja predviđena je sljedeća oprema (slika 6.3):

- 1. Izolacijski aparat sa maskom za disanje** – imitacija izolacijskog aparata koji ne bi bio punjen zrakom, već bi vatrogasac udisao vanjski zrak kroz masku, dok bi maska bila povezana sa uređajem u izolacijskom aparatu. Uređaj bi stvarao otpor kod udisaja/izdisaja, što bi rezultiralo dojmom realnosti korištenja pravog izolacijskog aparata. Ujedno, uređaj bi mjerio potrošnju zraka, te ukoliko bi vatrogasac potrošio količinu zraka od 1800 litara (boca od 6 litara pod tlakom od 300 bara) zatvorio bi se dotok putem maske.
- 2. VR naočale** – bile bi ugrađene u samom viziru maske za disanje, te bi funkcionirale na standardni način.
- 3. Mlaznica** – standardna vatrogasna „C“ mlaznica tipa SELECT FLOW, koja bi na sebi imala dodatak povezan računalnim sustavom, na način kada bi vatrogasac na mlaznici pustio vodu, promijenio protok vode, ili vrstu mlaza (vodena zavjesa, magla ili puni mlaz) istovremeno bi se isto događalo u simulaciji. Sve radnje odrađivale bi se bez vode u realnom svijetu.
- 4. Tlačna „C“ cijev** – standardna tlačna „C“ cijev promjera 52 mm dužine do 5 m bila bi spojena uređajem koji bi puštanjem odnosno zatvaranjem vode na mlaznici stvarao otpor i zatezanje cijevi.
- 5. Termo odijelo** – koje bi vatrogasac obukao ispod vatrogasnog odijela. Termo odijelo bi se zagrijavalo do maksimalne temperature od 45 stupnjeva Celzijevih, a kako ne bi moglo izazvati opekline. Odijelo bi reagiralo prema samoj simulaciji. Na primjer, kada bi se vatrogasac približavao požaru, odijelo bi se postepeno zagrijavalo, a ukoliko bi došlo do plamenog udara, temperatura odijela bi se naglo zagrijala. Na taj način bi se postigla interakcija i pojačao doživljaj virtualne stvarnosti.
- 6. Pomična traka** – budući da se vatrogasac na intervenciji mora kretati ili puzati, upravo bi pomična traka uvelike doprinijela ovakvom virtualnom interaktivnom simulatoru, jer bi ona bila površine od 4 metara kvadratnih, a u virtualnom bi smislu zamijenila neograničene površine. Traka bi se pomicala samim pomicanjem vatrogasca.

7. **Kontrolno računalo** – svi uređaji bili bi povezani sa računalom ili tabletom kojim bi upravljao instruktor. Instruktor mogao mijenjati parametre požara, mijenjati scenarije, pratio bi sam tijekom taktike gašenja, potrošnju zraka u izolacijskom aparatu, potrošnju vode te fizičko stanje vatrogasca.
8. **Ostala oprema** – vatrogasne čizme, hlače, jakna, potkapa, rukavice, kaciga i opasač.



*Slika 6.3 Predviđena glavna oprema
Izvor: izrada autora*

Kombinacijom navedene opreme, virtualni interaktivni simulator mogao bi dočarati stvarnost efektima vatre, dima, vode i topline, a pritom vatrogasac ne bi bio životno ugrožen ni u jednom trenutku. Osim scena simulacija plamenih udara, moguće je uvježbavanje i raznih drugih scena, poput požara automobila, podruma, krovišta, kuhinja i slično. Isto tako ovakav virtualni interaktivni simulator mogle bi isprobati i ostale osobe koje nisu vatrogasci, a kako bi se mogli upoznati sa načinom i uvjetima rada vatrogasaca.

Prednosti interaktivnog simulatora:

- nema životne ugroze za korisnike,
- nema otrovnih produkata izgaranja,
- nije štetno za okoliš,

- ne postoji opasnost od opekline,
- simulatoru mogu pristupiti svi,
- može se koristiti u edukativne svrhe djece,
- za razvoj požara nisu potrebni gorivi materijali (drvo, plin),
- vatrogasci u osposobljavanju neće oštetiti skupocjenu vatrogasnu opremu,
- jednostavnost korištenja,
- 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),
- trošak simulacije je gotovo nepostojeći, potrebno je inicijalno ulaganje i dalje nema nikakvih troškova,
- brzina izvođenja, nema gubitka vremena na pripreme i čekanja.

Nedostaci interaktivnog simulatora:

- ne osigurava u potpunosti realistični uvjet požara – visoku temperaturu,
- inicijalni troškovi izrade simulatora su visoki naspram simulatora na kruta goriva,
- učenje (većinom od strane starijih vatrogasaca – „stara škola“),
- VR naočale ne odgovaraju svima u smislu na to da nisu naviknuti na nošenje,
- odbijanje jer nije „realan“ prikaz.

7. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog ispitivanja i sumiranja do sada poznate tehnologije u uvježbavanju vatrogasaca, možemo zaključiti kako bi ovakav virtualni interaktivni simulator plamenih udara znatno olakšao edukaciju vatrogasaca, te im na siguran način prezentirao sve oblike plamenih udara. Korištenjem najsuvremenije tehnologije, život vatrogasca ne bi bio u opasnosti, ne bi postojale mogućnosti od opekline kao što je to slučaj kod klasičnih simulatora, a isto tako ne postoji mogućnost od trovanja otrovnim plinovima. Individualnim pristupom, svaki vatrogasac bi imao priliku vidjeti gdje griješi te vježbom postati spremniji na moguće scenarije. Vrlo bitna stavka su troškovi koji bi se smanjili budući da nije potrebno 6 instruktora kod izvođenja vježbi, već je dovoljan samo jedan koji upravlja cjelokupnim simulatorom. Isto tako, u simulator se može pristupiti bez skupocjene zaštitne opreme koja po jednom vatrogascu košta cca 22.000,00 kuna, sa obavljenim liječničkim pregledom i završenim školovanjem za zvanje vatrogasac, te simulator mogu isprobati i svi ostali koji nisu na osposobljavanju.

Izgradnja ovakvog virtualnog interaktivnog simulatora koštala bi u visini cijene automobila više srednje klase, ali naravno sa neprocjenjivim doprinosom vatrogastvu.

U Varaždinu, 06. listopada 2020. godine.

Tomislav Šestak



IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, **Tomislav Šestak**, pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom *Utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na obuku vatrogasaca* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Tomislav Šestak

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, **Tomislav Šestak**, neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom *Utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na obuku vatrogasaca* čiji sam autor.

Student:

Tomislav Šestak

(vlastoručni potpis)

LITERATURA

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

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

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Uvjeti gorenja	5
Slika 2.2 Krivulja razvoja temperature	6
Slika 2.3 Faze razvoja požara	7
Slika 3.1 Odnos temperature pri požaru zatvorenog prostora	11
Slika 3.2 Podjela plamenih udara	12
Slika 3.3 Prikazuje nekoliko mogućih scenarija razvoja požara u zatvorenom prostoru	13
Slika 3.4 Prikaz flashover-a.....	14
Slika 3.5 Prikaz backdraft-a.....	16
Slika 3.6 Težina opreme vatrogasca	18
Slika 4.1 Plinski simulator u učilištu Državne uprave za zaštitu i spašavanje	20
Slika 4.2 Simulator plamenih udara na kruta goriva	21
Slika 6.1 Primjer simulacije gašenja požara uz pomoć virtualnih naočala	33
Slika 6.2 Primjer prvih VR simulacija za osposobljavanje	34
Slika 6.3 Predviđena glavna oprema	39

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 5.1 Prikazuje spolna struktura ispitanika	26
Grafikon 5.2 Prikazuje dobnu struktura ispitanika	27
Grafikon 5.3 Prikazuje provođenje teorijske i praktične nastave	27
Grafikon 5.4 Prikazuje vremensko trajanje jednog termina praktične nastave	28
Grafikon 5.5 Prikazuje da li vatrogasci prilikom vježbi imaju osjećaj kao da su na intervenciji .	29
Grafikon 5.6 Prikazuje postotak ozlijeđenih vatrogasaca i oštećene opreme prilikom obuke u simulatoru plamenih udara	30
Grafikon 5.7 Prikazuje postotak ozlijeđenih vatrogasaca na intervencijama	30
Grafikon 5.8 Prikazuje odgovore na pitanje što na intervencijama predstavlja najveću opasnost?	32
Grafikon 6.1 Prikazuje ukupan postotak ispitanika na pitanje da li su ikad koristili virtualne naočale ili igrali simulacijske video igre, te dali su iz toga mogli nešto naučiti	35
Grafikon 6.2 Prikazuje postotak ispitanika koji smatraju da bi više naučili pomoću virtualnog interaktivnog simulatora od klasičnih vježbi	35
Grafikon 6.3 Prikazuje koliko bi ispitanika bilo sigurnije u svoje sposobnosti u realnim situacijama nakon uvježbavanja na virtualnom interaktivnom simulatoru	36
Grafikon 6.4 Prikazuje omjer korištenja virtualnog interaktivnog simulatora u odnosu od klasičnih vježbi	37
Grafikon 6.5 Prikazuje odnos koliko bi bili spremniji na realne situacije korištenjem virtualnog interaktivnog simulatora	37

PRILOG

ANKETNI UPITNIK

Poštovani, moje ime je Tomislav Šestak i provodim **anonimnu anketu** na temu Utjecaj virtualnog interaktivnog simulatora na uvježbavanje vatrogasaca. Cilj ankete je prikupljanje podataka za izradu diplomskog rada na Sveučilištu Sjever, smjer Multimedija. Anketa je namijenjena za dobrovoljne i profesionalne vatrogasce, pa bih zamolio da odvojite nekoliko minuta kako bi ste ju ispunili. Hvala

1. Dobrovoljni ili profesionalni vatrogasac?

Dobrovoljni vatrogasac

Profesionalni vatrogasac

2. Spol

M

Ž

3. Dob *

18 - 28 godina

29 - 38 godina

39 - 48 godina

više od 48 godina

4. Da li se u vašem DVD-u/JVP-u provodi teorijska i praktična nastava? *

Da

Ne

5. Koje je vremensko trajanje jednog termina praktične nastave *

do 1 sat

1 - 2 sata

2 - 3 sata

više od 3 sata

6. Odvija li se praktična nastava na način da nema opasnosti za vatrogasce (visoke temperature, opasnost od eksplozije, urušavanja)? *

Da

Ne

7. Imate li osjećaj kod takvih vježbi kao da ste na intervenciji? *

Da

Ne

8. Možete li nakon takve obuke kvalitetnije i sigurnije pristupiti u realnoj situaciji? *

Da

Ne

9. Da li ste prolazili obuku SPU - simulator plamenih udara? *

Da

Ne

**10. Da li ste vi ili netko od prisutnih zadobili ozljede/opekline prilikom SPU obuke?
(odgovarate ukoliko ste pohađali obuku)**

Da

Ne

11. Da li je bila potrebna liječnička pomoć vama ili nekome od polaznika? (odgovarate ukoliko ste pohađali obuku)

Da

Ne

12. Da li vam se oštetila osobna oprema? (odgovarate ukoliko ste pohađali obuku)

Da

Ne

13. Da li ste na intervencijama imali naznaku plamenog udara ili sam plameni udara? *

Da

Ne

14. Da li ste na nekim od intervencija bili povrijeđeni Vi ili Vaši kolege? *

Da

Ne

15. Da li je na intervenciji bilo smrtno stradalih vatrogasaca? *

Da

Ne

16. Što na intervencijama predstavlja najveću opasnost *

Nedostatak iskustva

Neadekvatna oprema

Ostalo _____

17. Da li ste ikad koristili virtualne naočale ili igrali simulacijske video igre? (vožnja kamiona, vlakova, upravljanje avionom, SIMS – simulacija života...) *

Da

Ne

18. Da li ste mogli naučiti nešto novo iz tih igara? *

Da
Ne

U sljedećih nekoliko rečenica opisan je virtualni način uvježbavanja vatrogasaca, te 4 anketna pitanja.

Virtualni interaktivni simulator sastoji se od:

VR maska za lice – klasična maska za disanje uz dodatak VR naočala

Izolacijski aparat – replika izolacijskog aparata, iste težine, s uređajem koji simulira stvarno korištenje izolacijskog aparata (otpor, potrošnja)

Termo odijelo – odijelo koje se zagrijava ovisno o virtualnoj vježbi, te omogućuje realističnost vježbe

VR Mlaznica i cijev – cijev i C mlaznica sa regulacijom protoka vode i vrstom mlaza koja ovisno o odabiru parametara stvara pritisak u cijevi i time dočarava stvarno korištenje

Traka za hodanje – traka po kojoj se krećete u svim smjerovima, ali na jednom mjestu, dimenzije 10 m2.

Ostala oprema – vatrogasno odijelo, kaciga, čizme, potkapa, rukavice

Primjer virtualne simulacijske vježbe:

Požar obiteljske kuće. Svi prozori cijeli, ali zadimljeni. Ulazite u kuću gdje je prostorija zadimljena, ali nije previše zagrijana. Tražite po zadimljenoj prostoriji izvor požara, a približavanjem osjećate povećanje temperature kroz termo odijelo. Vršite provjere prostorija, javljaju se plameni jezici, hladite vrući dim. Ukoliko pogriješite odabirom vrste mlaza, ili samim taktičkim pristupom dolazi do plamenog udara i virtualno gubite život. Vježba dočarava stvarnu situaciju korištenjem vizualnih efekata, disanjem na VR izolacijski aparat, blagim ili naglim zagrijavanjem termo odjela, opterećenjem cijevi i mlaznice.

19. Da li smatrate da biste mogli više naučiti pomoću interaktivnog simulatora od klasičnih vježbi? *

Da
Ne

20. Da li biste bili sigurniji u svoje sposobnosti u realnim situacijama nakon uvježbavanja na interaktivnom simulatoru. *

Da
Ne

21. Da li biste više koristili vježbanje u virtualnom interaktivnom simulatoru od klasičnih vježbi? *

Da

Ne

22. S obzirom na razne scenarije i pripremanje na nepredvidive situacije da li smatrate da bi Vas virtualni simulator bolje pripremio na realne situacije? *

Da

Ne