

3D metoda gašenja požara i utjecaj vatrogasne mlaznice na termodinamički efekt

3D method of firefighting and fire jet's impact on the thermodynamic effect

Marijan Šipuš, dipl.ing.

SAŽETAK

U ovom radu dan je opis spomenute 3D metode, te materije 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 pod nazivima: hlađenje plinova, ofenzivna metoda ili obuzdavanje plinske faze u strukturnim požarima.

Ukratko je izveden opis vatrogasnih mlaznica koji daje jasniju predodžbu o taktici gašenja 3D metodom. U konačnici, opisane su prednosti metode gašenja požara u zatvorenom prostoru u odnosu na tradicionalne metode.

Ključne riječi: gašenje požara, 3D tehnika gašenja požara, vatrogasne mlaznice, hlađenje požarnih plinova

Summary

It was common in the past for firefighters to focus their initial attack and strategy towards the visible flame, while the hidden dangers of flame exposure were ignored in the gaseous states. It is a fundamental error that has repeatedly taken the lives of firefighters. The lives of firefighters are particularly threatened in enclosed spaces due to uncombusted pyrolysis products. (when solid combustible materials, such as wood and plastic, decompose into flammable gaseous state during pyrolysis.)

A new approach to putting out fires in enclosed spaces not only consists of extinguishing fires, but begins with an understanding of how fires develop; the conditions under which fires develop indoors; the ventilation conditions, and most important, the cooling of the smoke layer and the application of water mist in enclosed spaces. This paper provides a description of the aforementioned 3D methods and materi-

als needed in order to understand the use of this method to suppress fires in enclosed spaces, especially with the emphasis on techniques that are based on cooling the fire gases. The above mentioned method is also known under terms and phrases such as gas phase cooling, the offensive method or the method of restraining the gas phase in structural fires. A short description of fire jets and a clear insight into the 3D method of firefighting will also be provided. Ultimately, the advantages of water mist fire suppression systems will also be outlined in comparison to traditional methods.

Keywords: fire extinguishing, 3D firefighting techniques, fire jets, cooling of the fire gases

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. 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. Iz ovog stručnog rada može se vidjeti složenost procesa gašenja požara 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 kao što je opisano u radu, 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.

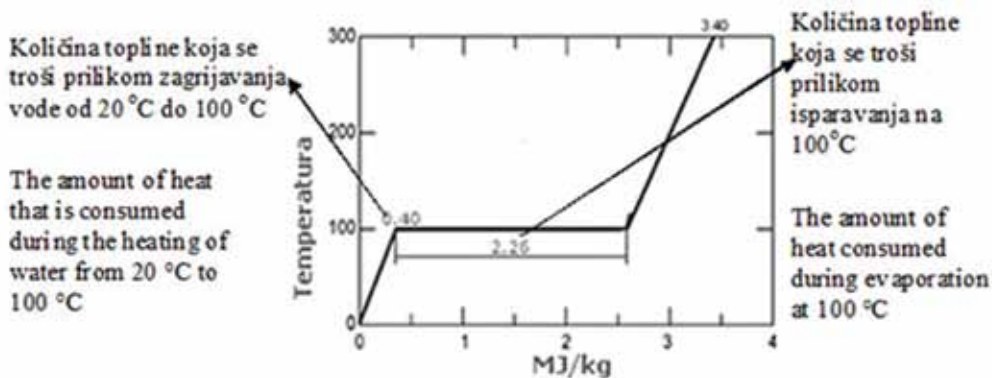
VODA KAO SREDSTVO ZA GAŠENJE POŽARA - *Water as a means of fire suppression*

3D metoda gašenja požara zasniva se na vodi kao sredstvu za gašenje, pa 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 kapljevitih faza vode u njenu parnu fazu, tj. vodenom paru (koja izolira gorivu tvar od zraka, što znači da djeluje ugušujući). Ne postoji druga tekućina koja je na tako izuzetan

način prikladna, da se primijeni kao ohlađujuće vatrogasno sredstvo - voda.

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.



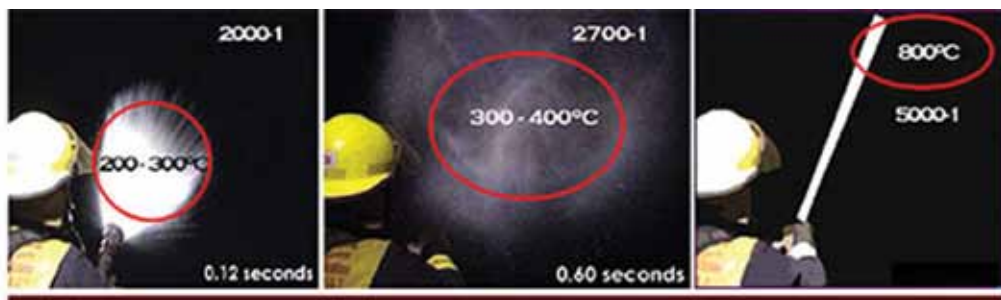
Slika 1. Prikaz potrošnje topline prilikom zagrijavanja vode do vrelišta i potrošnje topline pretvorbom vode u vodenu paru

Figure 1. Displaying heat consumption during heating to the ebollition point and heat consumption by converting water into steam

PRIMJENA TRODIMENZIONALNE 3D METODE GAŠENJA POŽARA - *The application of three-dimensional 3D firefighting technique*

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 jasno 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, backdraughta 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.



Slika 2. Odnos veličine kapljica vode i volumena stvaranja vodene pare

Figure 2. The ratio of the size of water droplets and volume creation

Primjenjujući 3D metodu gašenja požara vatrogasci usmjeravaju vodenu maglu izravno u vruće požarne plinove. Kratkim i naglim otvaranjem slavine na mlaznici plasi- ra 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 odjeljka 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.

Na slici 2. može se vidjeti odnos kapljica vode i volumena stvaranja, 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 ° 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 °C, jer se rasprši u manje čestice tek kod udaranja u strop prostorije. Učinak takvog djelovanja

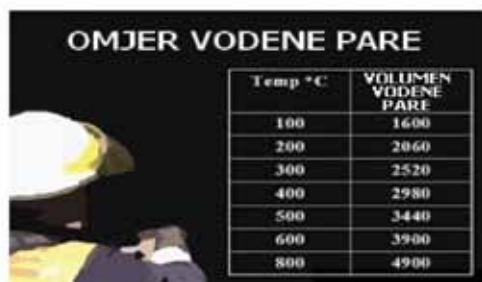
je stvaranje prekomjernog volumena pare (omjer vodene pare višestruko povećan zbog visoke temperature) iznad samog stropa na visokim temperaturama, što dovodi do toplinske neravnoteže.

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°C proizvodi 1700 litara ili 1,7 m³ vodene pare. Međutim, u požarnom prostoru prosječna temperatura s kojom se vatrogasci susreću nije 100 °C već se kreće od 300 do 600 °C, stoga je neophodno izložiti i prezentirati kapacitet isparavanja vode u takvim uvjetima.

Slika 3. Omjer vodene pare u odnosu na vodu na različitim temperaturama

Figure 3. The ratio of water vapor to the water at various temperatures



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

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 mlazom ili usko raspršenim, eksperimentalni i analitički rezultati po-

kazuju da 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.

GAŠENJE POŽARA 3D METODOM - *Extinguishing fires using 3D method*

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.

Polijevanje

Puni mlaz vode na mlaznici, pulsirajući potok te teške kapljice “lobovati” na gorući materijal. Usmjeren 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 4: Postava mlaza kod kratkog i dugog impulsa propuštanja vode

Figure 4. Positioning of the jet with short on long pulse jets of water



Slika 5: Postava mlaza kod “pulsirajuće” tehnike polijevanjem

Figure 5. Positioning of the jet at a “pulsating” water spreading technique



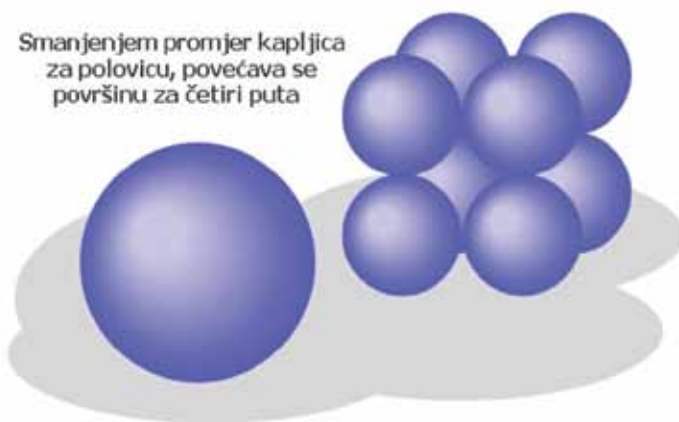
UTJECAJ MLAZNICE NA TERMODINAMIČKI EFEKT - *The impact of jets on the thermodynamic effect*

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.

Slikom 6: Smanjenjem promjera kapljica za polovinu, povećava se površina dodira sa materijom (vrućim požarnim plinovima) za četiri puta

Figure 6. Reducing the diameter of droplets by 50%, the surface area of contact with the matter (hot combustion gases) increases four times



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 udaljenosti u iznimno vrućem prostoru.

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 7. Odnos tlaka na mlaznici na promjer kapljica mlaza

Figure 7. The ratio of the pressure at the jet and the spray droplet diameter



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).

Patent mlaznice (univerzalne, kombinirane)

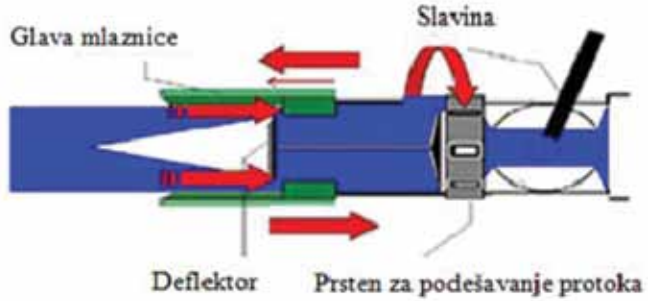
Patent mlaznica je poboljšana u odnosu na obične konvencionalne mlaznice s fiksnim usnacom sa svih aspekata, uključujući gašenje požara vodom, poput mogućnosti reguliranja protoka vode, radnih tlakova, odabira vrste mlaza (puni, usko raspršeni, široko raspršeni, veličini kapljica itd.).

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 učinkovitošću, poboljšanjem taktike, napada i boljeg tijeka isporuke nego s običnim mlaznicama.

Slika 8. Glavni dijelovi patent mlaznice

Figure 8. Main parts of the patent jet



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

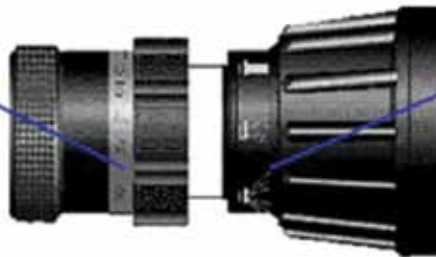
Slika 9: Brzina na čitavom opsegu mlaza je ista

Figure 9. The speed at the entire circumference of the jet is the same



Ova vrsta mlaznica ima mogućnost namještanja određenog protoka vode okretanjem prstena koji se nalazi na tijelu mlaznice lijevo-desno, čime povećavamo i smanjujemo protok. Na slici 13. prikazan je 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).

Mogućnost regulacije protoka
The possibility of flow regulation



Mogućnost odabira vrste mlaza vode
The possibility of selecting type of water blast

Slika 10: Prikaz jednog dijela mlaznice koji utječe na regulaciju protoka i odabira vrste mlaza

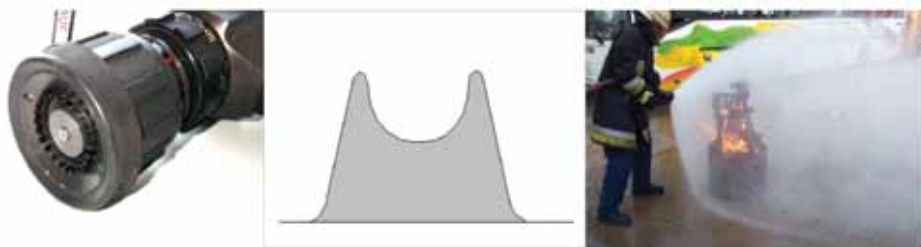
Figure 10. The display of a jet segment which has an impact on the regulation of flow control and selecting the type of water blast

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 11. Izgled patent mlaznice s rotirajućim prstenom, oblik stošca i primjena

Figure 11. A patent jet with a rotating ring, the shape of a cone and the application

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 12. Izgled patent mlaznice sa stabilnim (fiksni) prstenom, oblik stošca i primjena

Figure 12. A patent jet with a stable (fixed) ring, the shape of a cone and the application

ZAKLJUČAK

Conclusion

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. Osobita opasnost vatrogascima prijete u zatvorenim prostorima od neizgorenih produkata pirolize (kada se kruta goriva, poput drva i plastike, podvrgnuti pirolizi, raspadaju u zapaljivu gorivu plinsku fazu).

Iz ovog stručnog rada može se uvidjeti složenost procesa gašenja požara 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.

Tehnika i taktika gašenja požara vodenom maglom, kao što je opisano u radu, temelji se na razumijevanju ponašanja požara i pristupa kontroli opasnosti od požara u prostoru (potrebno je poznavati osnove termodinamike požara, tehnike i učinke sredstva za gašenje, npr. vode).

Čovjekovo nastojanje da opstane bilo je vodeći motiv u stvaranju mnogih metoda gašenja požara pa tako i ove. Isto to nastojanje pokreće čovjeka da ne stane na tom putu otkrivanja i pronalaženja još boljih, sigurnijih metoda.

LITERATURA

References

1. Desmet K., Grimwood, P. (2003): *Tactical firefighting*. CEMAC KD PG, London
2. Karlović, V. (2002): *Procesi gorenja i gašenja*. Vatrogasna škola, Zagreb
3. Grimwood, P., Hartin, J., McDonough, E., Raffel, S. (2005): *3D Fire fighting*. Published by Fire Protection Publications, Oklahoma
4. *International educator of structural firefighting strategy & tactics* (2013)
5. <http://cfbt-us.com/wordpress/?p=1280>
6. http://www.firetactics.com/3D_Firefighter.htm (20. listopada 2013.)