

# Sredstva za gašenje požara

---

**Filjak, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:948569>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Zaštite od požara  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Filip Filjak

## **Sredstva za gašenje požara**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2017.

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

Filip Filjak

# **Fire Extinguishing Agents**

FINAL PAPER

Karlovac, 2017.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Zaštite od požara  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Filip Filjak

## **Sredstva za gašenje požara**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Dr.sc. Igor Peternel, predavač

Karlovac, 2017.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
Trg J.J. Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2017.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Filip Filjak

Matični broj: 0415614050

Naslov: Sredstva za gašenje požara

Opis zadatka:

1. Metode gašenja
2. Sredstva za gašenje požara
3. Pjene
4. Prah
5. Ugljikov dioksid – CO<sub>2</sub>
6. Haloni

Zadatak zadan:

03/2017

Rok predaje rada:

07/2017

Predvideni datum obrane:

07/2017

Mentor:

Dr.sc. Igor Peternel, predavač

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr.sc. Zvonimir Matusinović, predavač

## PREDGOVOR

Zahvaljujem mentoru dr.sc. Igoru Peternelu, koji mi je pomogao svojim savjetima tijekom pisanja završnog rada. Također hvala kolegama na pruženoj pomoći i podršci. Isto tako zahvaljujem se roditeljima Ljiljani i Božidaru koji su mi pružili mogućnost studiranja na Veleučilištu u Karlovcu, te me podržavali tijekom studiranja.

## **SAŽETAK**

Najopćenitije podjele sredstava za gašenje požara daju nam tri vrste: glavna – voda, specijalna- pjena, ugljikov dioksid, haloni, prah i pomoćna –pokrivači, pijesak, ostalo. Od "idealnog" sredstva za gašenje požara zahtijevamo sljedeća svojstva: dobro oduzimanje topline hladeći tvar koja gori, stvaranje atmosfere koja sprečava pristup zraku oko gorive tvari, nemogućnost spajanja sa svim drugim stvarima, nemogućnost provođenja el. energije, nezapaljivost u svim aktivnostima, nemogućnost raspadanja samog sredstva na zapaljive tvari, raspoloživost u dovoljnim količinama i pristupačna cijena. Danas postoji puno različitih sredstava za gašenje požara, ali ni jedno od njih ne zadovoljava sve uvjete "idealnog" sredstva za gašenje požara.

**KLJUČNE RIJEČI:** sredstva za gašenje požara, glavna, specijalna, gorive tvari, zapaljivost

## **ABSTRACT**

Fires of all classifications cannot be dealt with in the same way. The three primary categories of fire extinguishing agents currently used in dealing with fires are: Primary Agents – water, foam, Supplementary Agents - Dry Chemical, Halotron and Carbon Dioxide; Other Agents - these agents can be either in the form of liquid or powder. Extinguishing agents must be: good penetration of the heat by cooling a burning substance, creating an atmosphere that prevents airborne access to fuel, inability to connect with all other things, inability to conduct electricity, inflammability in all activities, inability to disintegrate the flammable substance itself, availability in sufficient quantities and an affordable price. Today there are a lot of different extinguishing agents, but none of them meets all the conditions of the "ideal" fire extinguishing agent.

**KEY WORDS:** fire extinguishing agents, primary agents, supplementary agents, burning substance, flammability

## SADRŽAJ

|   |     |
|---|-----|
| ZAVRŠNI ZADATAK.....  | I   |
| PREDGOVOR.....  | II  |
| SAŽETAK.....  | III |
| SADRŽAJ.....  | IV  |
| <br>  |     |
| 1. UVOD .....   | 1   |
| 2. METODE GAŠENJA .....   | 2   |
| 2.1. Efekt hlađenja .....   | 2   |
| 2.2. Efekt ugušivanja (podefekt odvajanja i prekrivanja).....           | 3   |
| 2.3. Efekt ugušivanja (podefekt razrjeđivanja).....                     | 3   |
| 2.4. Antikatalitički efekt .....  | 3   |
| 3. SREDSTVA ZA GAŠENJE POŽARA.....                                      | 6   |
| 3.1. Voda.....  | 7   |
| 3.2. Kemijska svojstva vode .....                                       | 7   |
| 3.2.1. Fizička svojstva vode.....                                       | 9   |
| 3.2.2. Otopine .....  | 10  |
| 3.2.3. Emulzija.....  | 13  |
| 3.2.4. Suspenzije.....  | 14  |
| 3.2.5. Područje, oblici i granice primjene vode za gašenje požara ..... | 14  |
| 3.2.6. Vodena para .....  | 16  |
| 4. PJENE .....  | 17  |
| 4.1. Struktura pjena.....   | 17  |
| 4.2. Kemijska pjena .....   | 18  |
| 4.3. Zračna (mehanička) pjena.....                                      | 18  |



|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.3.1.  | Proteinska pjenila (P).....  | 19 |
| 4.3.2.  | Fluoroproteinska pjenila (FP).....                                       | 19 |
| 4.3.3.  | Pjenila na bazi fluoroproteina koja stvaraju film (FFFP).....            | 20 |
| 4.3.4.  | Sintetska pjenila (S).....   | 20 |
| 4.3.5.  | Fluorosintetska pjenila (AFFF).....                                      | 21 |
| 4.3.6.  | Pjenila za proizvodnju pjene srednje ili visoke ekspanzije (Syndet)..... | 21 |
| 4.3.7.  | Alkoholna pjenila (AR).....  | 22 |
| 4.3.8.  | Pjenila koja stvaraju pjenu pri niskim temperaturama.....                | 23 |
| 4.3.9.  | Univerzalna pjenila.....   | 23 |
| 4.3.10. | Tehnički podatci pjene.....  | 23 |
| 4.3.11. | Laka voda.....   | 24 |
| 5.      | PRAH.....  | 25 |
| 5.1.    | Kemijski sastav.....   | 26 |
| 5.2.    | Fizička svojstva praha za gašenje požara.....                            | 27 |
| 5.2.1.  | Veličina čestica.....  | 27 |
| 5.2.2.  | Nasipna masa.....  | 27 |
| 5.2.3.  | Gustoća.....   | 27 |
| 5.2.4.  | Specifična površina.....   | 27 |
| 5.2.5.  | Hidrofobnost.....  | 27 |
| 5.2.6.  | Sadržaj vlage u prahu.....   | 28 |
| 5.2.7.  | Svojstvo protjecanja i sipkosti.....                                     | 28 |
| 5.2.8.  | Otpornost na vibracije i tlak.....                                       | 28 |
| 5.2.9.  | Stabilnost praha pri promjeni temperature.....                           | 28 |
| 5.2.10. | Elektrovodljivost praha.....   | 28 |
| 5.2.11. | Abrazivnost praha.....   | 29 |
| 5.2.12. | Korozivnost praha.....   | 29 |
| 5.3.    | Toksična svojstva.....   | 29 |

|        |   |           |
|--------|---|-----------|
| 5.4.   | Postojanost i dugorajnost.....                          | 29        |
| 5.5.   | Električna izolacija .....                              | 29        |
| 5.6.   | Primjena praha u gašenju.....                           | 30        |
| 5.6.1. | Protupožarna lopta .....                                | <b>31</b> |
| 6.     | UGLJIKOV DIOKSID- CO <sub>2</sub> .....                 | <b>33</b> |
| 6.1.   | Kemijska svojstva.....                                  | 34        |
| 6.2.   | Fizikalna svojstva .....                                | 35        |
| 6.3.   | Karakteristike punjenja.....                            | 36        |
| 6.4.   | Toksična svojstva .....                                 | 36        |
| 6.5.   | Primjena i ograničenja u primjeni CO <sub>2</sub> ..... | 36        |
| 7.     | HALONI.....   | <b>37</b> |
| 7.1.   | Zamjenski plinovi za gašenje .....                      | 38        |
| 7.1.1. | FM-200 .....  | <b>38</b> |
| 7.1.2. | NOVEC 1230 .....  | <b>39</b> |
| 8.     | ZAKLJUČAK .....   | <b>40</b> |
| 9.     | LITERATURA.....   | <b>41</b> |
| 10.    | POPIS SLIKA .....                                       | <b>42</b> |
| 11.    | POPIS TABLICA.....                                      | <b>43</b> |

# 1. UVOD

Gorenje je kemijski proces u toku kojega nastaju kemijske promjene tvari, oslobađanje topline i svjetlo. Količina topline koja se oslobađa pri potpunom izgaranju jednog mola, kg ili m<sup>3</sup> gorive komponente naziva se toplinom izgaranja. U toku gorenja dio topline se prenosi na produkte gorenja, koji se zagrijavaju na visoke temperature. Ta se temperatura naziva temperaturom gorenja.

Prema JUS-u Z.C0.003, požari gorivih tvari razvrstani su u pet klasa<sup>103</sup>

- **klasa A** - požari čvrstih zapaljivih tvari (požari sa stvaranjem žara - drvo, papir, slama, tekstil, ugalj i sl.)
- **klasa B** - požari zapaljivih tekućina (požari bez žara - benzin, ulja, masti, lakovi, vosak, smole, katran...)
- **klasa C** - požari zapaljivih plinova (gradski plin, acetilen, metan, propan, butan...)
- **klasa D** - požari zapaljivih metala (aluminij, magnezij i njihove legure, natrij, kalij...)
- **klasa F** – požari ulja i masti

Za početak gorenja potrebna je goriva tvar, oksidacijsko sredstvo (kisik) i izvor paljenja.

Kad izvor paljenja (plamen, iskra, vrući predmet, toplina kemijske reakcije) zagrije gorivu tvar i oksidans do određene temperature, počinje gorenje. Temperatura paljenja je najniža temperatura čvrste zapaljive tvari pri kojoj se ta tvar od odgovarajućeg vanjskog izvora paljenja zapali i nastavlja gorjeti plamenom. Sagorijevanje čvrstih tvari može biti direktno, promjenom agregatnog stanja ili uz raspadanje. Paljenje neke tekućine moguće je kad se iznad nje pojave dovoljne količine njezine pare da zajedno sa zrakom ili nekim drugim oksidansom stvore zapaljivu smjesu. Koncentracija para tekućine u tom slučaju mora biti u području zapaljivosti, odnosno iznad donje i ispod gornje granice zapaljivosti. Temperatura paljenja (plamište) je najniža temperatura do koje treba zagrijati zapaljivu tekućinu da bi se njezine pare u smjesi sa zrakom iznad površine pri normalnom tlaku mogle zapaliti vanjskim izvorom paljenja. Zapaljivi plinovi u smjesi sa zrakom mogu sagorijevati samo ako su koncentracije plina u smjesi sa zrakom odnosno kisikom ili nekim drugim oksidansom u točno određenom odnosu. Za početak reakcije oksidacije potrebno je na veze između atoma ili grupa atoma u molekuli oslabe. Slabljenje veza u molekuli i njihovo cijepanje moguće je kad se molekuli dovede potrebna energija. Da bi se taj kemijski proces prekinuo, u požar je potrebno ubaciti novu komponentu, odnosno sredstvo za gašenje požara.

## **2. METODE GAŠENJA**

Razmatrajući proces gorenja, utvrdili smo koji uvjeti moraju biti ispunjeni da bi gorenje moglo nastati i održavati se. Da bismo spriječili nastanak gorenja ili prekinuli već započeti proces oksidacije, potrebno je eliminirati barem jedan od uvjeta bitnih za početak gorenja, odnosno primijeniti barem jednu poznatu metodu gašenja požara. Gašenje se prema tome postiže pomoću nekog od efekata za gašenje od kojih navodimo slijedeće: efekat hlađenja, ugušivanja i antikatalitički efekt. Navedeni efekti imaju svoje poddefekte.

### **2.1. Efekt hlađenja**

Pod efektom hlađenja razumijeva se djelovanje neke tvari sa sposobnošću rashlađivanja druge tvari, radi oduzimanja dijela topline i snižavanja temperature. Količina topline koju je potrebno oduzeti žarištu da bi gašenje bilo uspješno čini oko 1/10 ukupno razvijene topline.

Efikasnost gašenja je veća ako se iz gorive tvari razvija manja količina topline i ako se u jedinici vremena upotrijebi veća količina sredstva za rashlađivanje. Kad vodu u toku gašenja zagrijemo do vrelišta, nastaje latentna topline isparavanja. To je topline koja, dovedena tvari, mijenja njezino agregatno stanje, ali joj ne povisuje temperaturu. Vrlo važan faktor koji utječe na gašenje jest brzina kojom tekuće sredstvo za gašenje prima toplinu za isparavanje. Upotrebom čvrstih sublimirajućih sredstava za gašenje, postiže se efekt sublimacije, koji odgovara efektu isparavanja. U tom postupku sredstvo za gašenje, ubačeno u žarište, osim promjene agregatnog stanja, podliježe ireverzibilnom raspadanju, u toku kojega se troši topline, što se više ili manje manifestira kao efekt gašenja. Metoda gašenja hlađenjem sastoji se od oduzimanja topline gorivoj tvari i snižavanja temperature te tvari. Takvo dvostruko djelovanje ne postiže se drugim sredstvima za gašenje. U toku gašenja temperatura se najprije mora sniziti ispod temperature paljenja, a zatim čvrstim tvarima, odnosno zapaljivim tekućinama treba smanjiti temperaturu ispod tališta odnosno plamišta. Ta se metoda uspješno primjenjuje u slučajevima kad se pomoću sredstava za gašenje požaru uspješno oduzima toplinska energija. To su po pravilu požari klase A, u kojima se tvari zbog topline raspadaju i stvaraju žarišta sa znatnom količinom topline i kružnim toplinskim tokom. Efekt hlađenja u požarima zapaljivih tekućina s plamištem iznad 55 °C uspješno se primjenjuje, uz uvjet da je riječ o ograničenoj površini i količini, kratkotrajnom požaru s malim količinama para koje u njemu sudjeluju i da se sredstvima za gašenje može pokriti cijela površina i opseg plamena.

## **2.2. Efekt ugušivanja (podefekt odvajanja i prekrivanja)**

Efekt ugušivanja (podefekt odvajanja i prekrivanja) sastoji se od odvajanja parne od tekuće faze neke tvari u procesu gorenja. Primjenjuje se pri gašenju požara zapaljivih tekućina i čvrstih tvari koje sublimiraju. Izolacija tih dviju faza (tekuće od plinske) provodi se pomoću sredstava za gašenje kao što su zračna i kemijska pjena i prah za gašenje požara. Osim što djeluje rashlađujuće na površinu zapaljive tekućine ili neke druge čvrste tvari, pjena ima sposobnost rasprostiranja po površini i pokrivanja tih površina, a na taj se način tekući dio smjese odvađa od parnoga koji zapravo gori. Kad u požaru izgori parna faza, požar se ugasi jer izolirajući sloj sredstava za gašenje svojom kompaktnošću, čvrstoćom i otporom spriječi nastajanje i ulazak novih para u zonu požara. Ta metoda gašenja požara ima široku primjenu na nekim požarima klase B, a može se primijeniti i na manjim požarima klase A. Primjenom te metode troše se znatne količine sredstava za gašenje, ali se istovremeno veoma efikasno sprečava "povratak" požara.

## **2.3. Efekt ugušivanja (podefekt razrjeđivanja)**

Efekt ugušivanja (podefekt razrjeđivanja) sastoji se od fizičkog djelovanja sredstava za gašenje, pomoću kojih koncentraciju kisika u zoni gorenja spuštamo ispod 15%. Sredstvo za gašenje u obliku pare, plina ili prašine razrjeđuje, potiskuje ili sprečava pristup kisika tvari koja gori. Kad se u praksi provodi s ugljik-dioksidom, dušikom, parom ili nekim drugim inertnim plinovima, taj se efekt naziva inertizacijom. Na taj se način gasi požar zapaljivih tekućina posebnim emulzijama koje stvaraju neka sredstva za gašenje s vodom (prah na bazi Na-hidrogenkarbonata s uljima i nekim drugim zapaljivim tekućinama stvara emulziju koja djeluje kao emulgator). Efikasnost tog načina ovisi o vrsti sredstava za gašenje i količini sredstava nanesenih na požar u jedinici vremena te o sposobnosti da se sredstvo za gašenje što dulje zadrži u zoni gorenja. Taj se efekt primjenjuje kad nijedna navedena metoda nije efikasna, posebno u požarima klase C, a primjenjuje se i na požarima klase B, uz prethodno navedeni uvjet, ili na požarima zapaljivih tekućina niskog vrelišta.

## **2.4. Antikatalitički efekt**

Pod pojmom antikatalitičkog efekta razumijevamo fizičko kemijsko ili energetske djelovanje neke tvari koja prekida lančanu reakciju gorenja i tako utječe na razvoj požara. Lančana reakcija gorenja prekida se inhibicijom ili intoksikacijom. Kad produkti termičkog raspada i cijepanja u homogenim reakcijama isparavanja djeluju na proces gorenje kao negativni katalizatori, govorimo o inhibicijskom efektu.

Na tom principu gase požar halogenirani ugljikovodici, koji u požaru stvaraju radikale što se vežu na reakcione lance plamena te priključuju lanac. Efekt intoksikacije nastaje kad čestice sredstava za gašenje zaraze (uđu) u

reakcijski lanac gorenja neke tvari i kisika. Gorenje će se u tom lancu prekinuti ako se intoksikacija provodi dovoljnim brojem čestica za gašenje požara. Prah za gašenje gasi požar antikatalitičkim efektom, podefektom intoksikacije. Samo neke vrste praha imaju efekt ugušivanja (podefekt prekrivanja) i to na bazi stvaranja polifosfata na površini gorive tvari.

U *specijalne postupke gašenja* ubrajamo pneumatski ili mehanički postupak miješanja zapaljivih tekućina u rezervoarima zahvaćenim požarom. Na taj se način miješaju donji hladni slojevi uskladištene tekućine s gornjim toplijim slojevima koji gore i na taj način dobivamo temperaturu nižu od temperature paljenja. Tako se postiže unutrašnji efekt hlađenja. U specijalne slučajeve gašenja ubrajamo i inertizaciju sa CO<sub>2</sub> ili N<sub>2</sub>-rezervoara sa zapaljivim tekućinama.

#### IZBOR SREDSTAVAC ZA GAŠENJE I METODE GAŠENJA S OBZIROM NA KLASU POŽARA

Tablica 1. Pri mokrom postupku gašenja kao sredstvo za gašenje primjenjuju se voda, vodena para i pjena

| <b>Sredstva za gašenje</b> | <b>Klasa požara</b> | <b>Metoda gašenja</b>               | <b>Djelovanje</b>  |
|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|--|
| voda                       | A                   | efekt hlađenja (oduzimanje topline) | hlađenje tvari koje sudjeluju u gorenju na temperaturu nižu od temperature paljenja, odnosno (oduzimanje nižu i od temperature paljenja; eliminacija uvjeta topline) za gorenje; prekid stvaranja plinova i para te toplinske energije kao izvora paljenja |
| vodena para                | -                   | efekt hlađenja (uvjetno)            | snižavanje temperature u zoni požara prenošenjem topline na paru i odvođenje topline strujanjem; primjenljivo samo u specijalnim slučajevima   |
| pjena<br>laka pjena        | B                   | efekt odvajanja i prekrivanja       | odvajanje gorive tvari od kisika iz zraka; debljim pokrivačem pjene (masa pjene jednaka je tlaku krivanja para) sprečava se prodiranje para ili plinova u zonu gorenja   |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  | A | efekt odvajanja i prekrivanja, efekt hlađenja (uvjetno) | isto djelovanje kakvo je već opisana za efekt odvajanja i prekrivanja; istovremeno se provodi hlađenje zapaljivih tvari vodom koja je posljedica raspadanja pjene (poluvrijeme raspada pjene) |
|--|---|---|---|

Tablica 2. Suhi postupak gašenja prahom

| Sredstva za gašenje   | Klasa požara | Metoda gašenja        | Djelovanje   |
|---|--------------|-----------------------|--|
| natrij-hidrogen-karbonat; prah za gašenje požara kategorije B i C   | B i C        | Efekt gušenja         | Ugušivanje istiskivanjem zraka iz zone gorenja i sprečavanje dolaska novih količina zraka  |
| kalijski hidrogen-karbonat; prah za gašenje požara kategorije B i C |              | Antikatalitički efekt | mehanički, kemijski i energetski prekid reakcije gorenja, sudaranje molekula i oduzimanjem energije (smanjenjem brzine gibanja molekula); zaustavljanje gorenja djelomičnim ili potpunim prekidom međureakcija koje djeluju kao središte za gašenje; |
| A, B, C prah za gašenje požara klase A, B i C                       | B i C        | Efekt gušenja         | jednako djelovanju pri efektu gušenja;   |
|   | A            | Antikatalitički efekt | jednako antikatalitičkom efektu;   |
|   |              | Efekt hlađenja        | hlađenje topljenjem ili spajanjem (sinteriziranjem) pri temperaturi nižoj od temperature paljenja;   |
|   |              | Efekt prekrivanja     | prekrivanje pora kroz koje dolazi plin tankim slojem što se stvara taljenjem ili sinteriziranjem površine koja gori; zaustavljanje izlaženja na površinu produkata raspadanja u procesu  |

|   |       |                       |  |
|---|-------|-----------------------|--|
| A, B,C prah za gašenje klase požara A, B, C i D | A     | efekt hlađenja        | gorenje i sprečavanje dovođenja topline zapaljivim tvarima;  |
|   |       | efekt prekrivanja     | jednako opisanom efektu hlađenja;<br><br>jednako prethodno opisanom efektu prekrivanja;  |
| prah za gašenje požara metala                   | B i C | efekt gušenja         | jednako prethodno opisanom efektu gušenja;   |
|   |       | antikatalitički efekt | jednako prethodno opisanom antikatalitičkom efektu;  |
| M-prah za gašenje požar                         | D     | efekt hlađenja;       | djelovanje jednako prethodnom efektu hlađenja;   |
|   |       | efekt odvajanja       | odvajanje gorive tvari od kisika iz zraka pomoću ljuske koja se dobiva topljenjem ili sinterovanjem; prah se nanosi na površinu bez tlaka; |

### 3. SREDSTVA ZA GAŠENJE POŽARA

Sredstva za gašenje požara su sustavi koji gase požare nekim od navedenih učinaka gašenja. Takvih sredstava danas ima raznovrsnih, jedni su u tekućem, a drugi u plinovitom stanju ili su miješani. Pomoću njih će sredstvo za gašenje biti bačeno na požar u onom stanju i onoj količini te s onom energijom koja osigurava učinkovito gašenje. Današnja tehnika tako je razvijena i raznolika ne samo kao sredstvo za gašenje već se ona razlikuje i kada je u pitanju isto sredstvo. Sredstva za gašenje mogu se djeliti na više načina, ali je najmjerodavnija podjela prema načinu djelovanja – učinku gašenja, jer su to i njihova temeljna svojstva. Sredstva koja pretežito djeluje hlađenjem, pripadaju voda i posebne tekućine. Sredstva koja djeluju pretežito zagušujuće, jesu vodena para, ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) i pjena. Sredstva koja djeluju antikatalitičkim učinkom, FM-200 i Novec 1230 koji su zamjena halogenim



ugljikovodicima. Mnoga sredstva, uz ovaj učinak, imaju još i sporedne učinke za gašenje. Posjedovanje više učinaka gašenja ne govori i o sposobnosti gašenja, već samo o mogućnosti primjene. Tako neko sredstvo može biti veoma učinkovito samo za jednu klasu požara, dok neko drugo može uspješno gasiti više vrsta požara pa da ipak prvo sredstvo ima veću moć gašenja.

### **3.1. Voda**

U porodici sredstava za gašenje, za protupožarnu zaštitu najveće značenje i ulogu ima voda. Ona je ne samo najučinkovitije sredstvo za gašenje, već gotovo uvijek postoji mogućnost da se pri gašenju koristi iz prirodnih izvora ili iz mreže, spremnika i bunara. Pored ovih, voda ima i drugih prednosti, jer se pomoću nje u smjesi s drugim tvarima – ekstraktima, mogu dobiti nova sredstva (pjene) za gašenje. Protupožarna tehnika za gašenje vodom je najstarija i jako razvijena. Za gašenje vodom postoji raznovrsna aparatura, od ručnog aparata, do velikih stabilnih protupožarnih postrojenja (splinker uređaji).

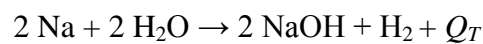


Slika 1. Gašenje vatre vodom

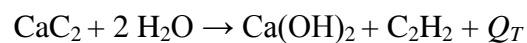
### **3.2. Kemijska svojstva vode**

Kemijski čista voda sastoji se od dva atoma vodika ( $H_2$ ) i jednog atoma kisika ( $1/2 O_2$ ) kao oksidacijskog produkta vodika kemijske formule  $H_2O$ . Kod normalnih okolnosti voda je u tekućem agregatnom stanju. Kao tekućina je kristalno čista, bez mirisa i okusa i nije štetna za

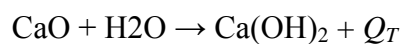
čovjekova zdravlje. Voda se u prirodi nikad ne nalazi kemijski čista. Prirodna voda sadrži mineralne soli, metalne spojeve i plinove, ovym o tome iz kakvog se tla crpe. Prirodna se voda može obrađivati filtracijom; dezinficiranjem, smanjenjem tvrdoće, odstranjenjem kiselina, željeza, plinova itd. Za gašenje požara upotrebljava se slatka i morska voda. Ledište vode iznosi 273 K, a najveća gustoća joj je pri 277 K. Otopljene soli kalcija i magnezija utječu na tvrdoću vode. Kemijski spoj vode vrlo je čvrst i tek se djelovanjem visoke toplinske energije cijepa na vodik i kisik, što se u praksi vrlo rijetko događa. Primjena vode za gašenje različitih požara vrlo je široka, ali postoje požari koje ne smijemo gasiti vodom. Vodom je opasno gasiti alkalne metale (litij, natrij, kalij, rubidij, cezij) i zemnoalkalne metale (aluminij, magnezij i njihove legure). U požaru tih metala razvijaju se visoke temperature i nastaje termičko cijepanje vode, što je popraćeno velikim brojem eksplozija i burnih erupcija gorivih tvari. U tim se reakcijama oslobađa vodik (H<sub>2</sub>), npr.:



Velik broj kemijskih tvari i spojeva u kontaktu s vodom izaziva neželjene reakcije. Koncentrirana sulfatna kiselina reagira s vodom i razvija velike količine topline, tako da nastaje burna reakcija pri čemu dolazi do izbacivanja smjese u neposrednu okolinu. Užareni koks u kontaktu s vodom razvija mnogo vodika i ugljik-monoksida (vodenog plina), pa pri gašenju takvih požara treba biti vrlo oprezan. Kalcij-karbid u kontaktu s vodom razvija lako zapaljiv i eksplozivan acetylen:



Živo vapno u kontaktu s vodom oslobađa veliku količinu toplinske energije i izaziva paljenje pri temperaturi višoj od temperature paljenja tvari koje se nalaze u blizini.



### 3.2.1. Fizička svojstva vode

#### Mehaničke osobine

**Gustoća vode:**  $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$  pri temperaturi  $T = 277 \text{ K}$ . To je ujedno vrijednost za utvrđivanje gustoće drugih čvrstih i tekućih tvari. Zagrijavanjem od 273 na 277 K voda se ne širi, već nastaje kontrakcija njezina volumena (anomalija vode). Na 277 K voda doseže najveću gustoću, koja se smanjuje s porastom temperature.

**Nestlačivost:** Voda je nestlačiva jer su njezine molekule neelastične. Pomoću cijevi može se lako transportirati na veliku udaljenost i upotrijebiti za gašenje požara punim i raspršenim mlazom.

**Površinska napetost:** Molekula vode na granici faze voda/zrak izložena je silama drukčijeg intenziteta nego molekule u unutrašnjosti. Na granici faze javlja se tangencijalno privlačenje među molekulama. Pri prijelazu vode iz tekuće u parnu fazu moraju se svladati molekularne sile privlačenja, a pri odvajanju molekula od površine tekućine mora se obaviti volumni rad. Na molekule na površini vode osim Van der Walsovih sila djeluju još i elektrostatičke privlačne sile između molekula, koje su dopunska lančana veza molekula vode u površinskom sloju. Oslobođanje molekula iz takve mreže zapravo je utrošak energije. Sumiranjem prethodne i te utrošene energije, dobiva se toplina isparavanja vode. Raspršivanjem vode u sitne kapljice povećava se brzina vezanja topline za te sitne kapljice. Kad kapilarna sila savlada površinsku napetost vode, efekti gašenja postaju izrazitiji jer sitne kapljice prodiru kroz kapilare i pore u tvar koja se gasi. Dodavanjem vodi određenih primjesa njezina se površinska napetost smanjuje i povećavaju se njezine gasilačke osobine.

#### Toplinska svojstva koja utječu na postupak gašenja požara vodom:

Kada se voda baci na žarište utroši se toplina na zagrijavanje, isparavanje a zatim i na zagrijavanje nastale vodene pare. S aspekta termodinamike, taj utrošak topline je energija potrebna za obavljanje vanjskog rada. Da bi se voda zagrijala na temperaturu vrelišta i na toj temperaturi isparila, potrebna je toplina  $627 \text{ Wh kg}^{-1}$ . Dio te topline troši se na povećavanje unutrašnje energije ( $U$ ), a drugi se dio troši za vanjski rad ( $pV$ ). Omjer tih dviju veličina pokazuje da na obavljanje vanjskog rada otpada 7,5%, a za povećanje unutrašnje energije oko 92,5%. Toplina koju voda bačena na žarište oduzima požaru može se iskazati izrazom  $Q_T = C_p dT$ , a u njoj je količina topline koja se troši na obavljanje rada ( $pV$ ).

U termodinamici se ta bilanca topline može izraziti entalpijom:

$$H = U + pV \text{ ili } H_p = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

Isparavanjem rashladnog sredstva u požaru osim entalpije, mijenja se i entropija tog sredstva. Entropija je količina topline podijeljena apsolutnom temperaturom na kojoj se toplina prima ili otpušta. Specifični toplinski kapacitet vode iznosi:

$$C_p = 4\,186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} = 1,163 \text{ Wh kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

kao srednja vrijednost u temperaturnom području od 273 do 373 K, što je ujedno i komparativna vrijednost za druge tvari.

Vrelište vode ili temperatura ključanja pri tlaku 1 bar iznosi  $T_v = 373 \text{ K}$ .

Ledište vode ili temperatura smrzavanja pri tlaku 1 bar iznosi  $T_L = 273 \text{ K}$ .

Utrošeni rad za pretvorbu leda u vodu (pri  $T = 273 \text{ K}$  iznosi  $W = 0,093 \text{ kWh kg}^{-1}$ ).

Toplinska vodljivost za vodu je  $0,58 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , a za vodenu paru  $0,017 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Pri tlaku  $p = 1 \text{ bar}$  i na temperaturi  $T = 373 \text{ K}$  iz jedne litre vode dobije se 1 700 litara vodene pare.

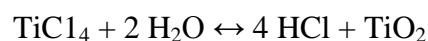
### **Dodaci vodi (retardanti)**

Da bi se poboljšale gasilačke osobine vode u preventivnom i operativnodjelovanju u zaštiti od požara i njegovu gašenju, vodi se dodaju kemikalije koje se prema načinu djelovanja mogu razvrstati u otopine, emulzije pjene i suspenzije.

#### **3.2.2. Otopine**

Najčešće se primjenjuju otopine koje se prema koncentraciji mogu podijeliti na koncentrirane i razrijeđene. Među kemikalijama pomoću kojih se proizvode otopine najčešće se upotrebljavaju anorganske soli, površinski aktivne supstance, ugušćivači i plinoobrazujuće tekućine. Među anorganskim solima za vodene se otopine primjenjuju kalcij-klorid,  $\text{CaCl}_2$ ; magnezij-klorid,  $\text{MgCl}_2$ ; amonij-sulfat,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; amonij-hidrogenfosfat,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  itd. Za povećanje prodornosti vode u toku gašenja služe površinski aktivne tvari i i močila, koji smanjuju površinsku napetost vode. Za proizvodnju otopina s površinski aktivnim tvarima upotrebljavaju se sulfanol i različiti detergentski (natrijeve soli i soli alkil-sulfonskih kiselina). Kad se vodi dodaju ugušćivači, nastaju viskozne otopine koje imaju svojstvo da se zalijepe na

gorivi materijal i na taj način povećavaju efikasnost gašenja, odnosno preventivno djeluju tako, da ne nastane ponovno paljenje u toku 2 – 3 sata. Takve se viskozne otopine često upotrebljavaju za zaštitu i gašenje šumskih požara. Za povećanje djelovanja viskoznoj vodi se često dodaju soli. Takva smjesa sporije isparava, a nakon prelaza iz tekuće faze u paru na površini gorive tvari stvara se čvrsti negorivi sloj. Ugušćivači imaju svojstvo bubrenja. Poznati ugušćivači su metil-celuloza i karboksi-metil-celuloza. Hidrolizom nekih tvari s vodenim parama iz zraka nastaju aerosoli kao plinoobrazujuće otopine. Među plinoobrazujućim tvarima poznate su titan-tetraklor ( $\text{TiCl}_4$ ), silicij-tetraklor ( $\text{SiCl}_4$ ) i kositar-tetraklor ( $\text{SnCl}_4$ ). Hidroliza nastaje pri temperaturi 300-400 °C prema sljedećem obrascu:



Ta sredstva imaju svojstvo istovremenog gašenja žara i plamena. Uspješno gašenje postiže se pri masenom udjelu većem od 2%. U korištenju tih sredstava treba biti vrlo oprezan s obzirom na njihovu toksičnost i korozivnost.

### 3.2.2.1. Tekući retardanti

Među otopinama koje služe za gašenje i zaštitu od šumskih požara poznati su tekući i praškasti retardanti. Za primjer opisuje se tekući retardant s trgovačkim nazivom *Silvafos-T*, proizvođač talijanska tvrtka Silvani iz Milana.. *Silvafos-T* razrijeđen sa tri ili više dijelova vode daje otopine spremne za primjenu u obliku retardanta za šumske požare ili za nanošenje na vegetaciju. Vežući se s celulozom, djeluju tako da se vatra ne može širiti preko određene zone. Otopina se nanosi (u odgovarajućoj opremi) sa tla ili iz aviona stvarajući pojas koji djeluje preventivno ili presijeca požar, odnosno gasi požar, blizu kritičnih mjesta: naseljenih predjela, industrijskih zona, skladišta postrojenja za preradu nafte, saobraćajnica, dalekovoda itd. Osnovni dijelovi uređaja za primjenu tekućih retardanata:

- posuda za mješavinu (valjkastog, četvrtastog ili nekog drugog oblika)
- posuda za razrjeđivanje (treba biti malo nagnuta prema mjestu usisavanja)
- pumpa za viskozne tekućine odgovarajuće usisne visine i protoka
- sistem za otvaranje i zatvaranje uređaja (ventili) i kontrolu uređaja (pokazivači nivoa).

Princip rada je jednostavan - sve se obavlja samo jednom pumpom u svim fazama procesa:

- priprema tekućeg retardanta i vode

- otapanje retardanata cirkuliranjem mješavine do kompletne homogenosti
- ukrcavanje otopine na prijevozno sredstvo

Učinak retardanata zasniva se prije svega na monoamonij-diamonij-fosfatu koji, nanesen na vegetaciju, nju čini nezapaljivom, odnosno ne dozvoljava da gori otvorenim plamenom.



Slika 2. Nanošenje retardanta na vegetaciju iz zraka

### 3.2.2.2. Viskoznost retardanata u otopini

Osim osnovnih aktivnih tvari (amonij-fosfati ili slično), retardanti sadrže i tvari pogodne za zgrušavanje koje vodenim otopinama daju odgovarajuću viskoznost za nanošenje na vegetaciju. Potrebna viskoznost iznosi  $200-800 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  za primjenu sa tla,  $1000-2000 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  za primjenu iz zrakoplova (s različitim visina i različitim brzinama).

- Povišena viskoznost utječe na to da kapljice ne budu previše malene i da imaju dovoljnu koheziju da se zbog otpora zraka ne rasprše u trenutku izbacivanja, odnosno da na vegetaciju padnu pod određenim tlakom i ugase vatru.
- Otopine (ako su viskozne) mogu na vegetaciji stvoriti sloj dovoljne debljine (bez klizanja s vegetacije). Da bi se postigla točno određena viskoznost, potrebno je da retardant dospije u vodu u programiranom postotku i da se potpuno otopi. Retardant se može upotrebljavati najviše dvije godine od dana isporuke.

### 3.2.2.3. Retardanti u prahu

Za primjer opisuje se retardant u prahu s trgovačkim nazivom Phos Chek, proizvod američke firme Monsanto. Glavna komponenta *Phos-Chek-retardanta* jest amonij-fosfat, koji utječe

na zapaljivost biljaka i drugih tvari mijenjajući njihovu kompoziciju. S Phos-Chek-retardantima u požaru gorivo se mijenja u ugljik i vodu. Voda ispari apsorbirajući toplinu. Preostali ugljik ne može izgarati jer nema kisika. Ti retardanti zadržavaju svoje osobine dok se voda ne ispari, dok ih vjetar ne otpuše ili se istrljaju s biljke na kojoj su raspršeni. Phos-Chek-retardant je suhi prah s oznakom G75F (crvene boje) iU G75F (bezbojni). Dodaju mu se ugušćivači da se postigne jače vezanje retardanta s gorivim tvarima. Posuda za miješanje je otvoreni kontejner od gumirane tkanine volumena  $V = 113$  L, promjera  $d = 60$  cm, visine  $h = 71$  cm, smješten na postolju. Ima priključak za punjenje, mješač i ejektor kojim se retardant dodaje vodi. Phos-Chek prah pakira se u bačvama od 18 kg ili vrećama od 22,7 kg.

Tablica 3. Određivanje mase retardanata ovisno o vrsti zapaljive tvari

| Vrste gorive tvari | Količina gorive tvari $\rho_A/t \text{ ha}^{-1}$ | Visina gorive tvari $h/\text{cm}$ | Širina pojasa $b/\text{cm}$ | Količina retardanata $\rho_A/Lm^{-2}$ |
|--------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Kratka trava       | 1,85   | 30                                | 61                          | 0,30                                  |
| Drveni otpad       | 12,35  | 7                                 | 61                          | 0,60                                  |
| Visoka trava       | 7,5  | 76                                | 152                         | 1                                     |
| Drvo i trava       | 10   | 45                                | 91                          | 1                                     |

Miješanje Phos-Chek-retardanta s vodom jednostavan je proces koji se može obaviti u količinama potrebnim za određene površine pomoću jednostavne opreme za gašenje požara (ili poljoprivredne opreme). Prah je vrlo topljiv i kompatibilan sa sredstvima za vlaženje radi lakšeg prodiranja u strukturu goriva. Pri upotrebi tog retardanta potrebno je postići koncentraciju od 500 g praha na 4 L vode (12,5%), pri čemu se obujam poveća 6%. Phos-Chek-retardanti se nanose na vegetaciju koja brzo gori. Takva primjena zaustavi vatru ako je pojas retardanta dovoljno širok da spriječi prijenos topline ili vatre preko zaštitnog pojasa. Širina pojasa određena je brzinom i smjerom vjetra te visinom vegetacije. Uvijek treba paziti da se retardantom pokrije sav pojas. Phos-Chek-retardanti se mogu upotrijebiti prije požara, uz uvjet da ih kiša ne spere. Potrebna količina retardanata i širina pojasa utvrđeni su ispitivanjem dani su u tablici 3.

### 3.2.3. Emulzija

Voda kao sredstvo za gašenje, može se dodavanjem specijalnih tvari poboljšati sposobnost prodiranja u sitne pore tvari koja gori i na taj način se povećava učinkovitost gašenja vodom.

Ovo je posebno važno kod gašenja požara nekih tvari kao što su ugljen, sirovi pamuk, lan i slični materijali. Tada je potrebno gasiti požarnu jezgru u dubini naslage materijala tako da voda dospije do mjesta gdje se pojavio požarni izvor, najčešće uslijed samopaljenja. Takvi požari ubrajaju se u grupu teško gasivih požara i mogu se gasiti samo vodom koja ima povećanu sposobnost gašenja. U praksi se ova voda naziva „mokra voda“ ili prodorna voda. Sposobnost vlaženja vode zavisi od njezine površinske napetosti odnosno kapi vode. Da bi voda dobila veću sposobnost vlaženja, treba joj smanjiti površinsku napetost koja smanjuje površinu kapi, tj. koja sprječava razbijanje kapi na još manje kapljice. Smanjenjem površinske napetosti povećava se sposobnost i energija površinskog širenja vode, razbijanje kapi. Za povećanje sposobnosti vlaženja koriste se sapuni kao što su: natrijev palminat, amonijev oleat, alkil sulfid te hidroksilne grupe topive u vodi kao npr. butilfenol i dr.

#### **3.2.4. Suspenzije**

Suspenzije su disperzije čvrstih tvari u tekućoj fazi, a dobivaju se miješanjem krutine s vodom. Prema veličini čvrstih čestica u smjesi, dijele se na grube (promjer čestica 100  $\mu\text{m}$ ), srednje (promjeri 50-100  $\mu\text{m}$ ) i fine (promjer manji od 50  $\mu\text{m}$ ). Dodatkom ugušćivača usporava se taloženje čestica. Među vodenim suspenzijama poznati su bentonitna glina i natrij-kalcij-borat. Bentonitna glina se sastoji od sljedećih komponenata:  $\text{SiO}_2$  (80%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (12%),  $\text{CaO}$  (3%),  $\text{MgO}$  (3%) i  $\text{K}_2\text{O}$  (1 %). Natrij-kalcij-borat se sastoji iz ovih komponenata: kalcij-borata ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) i natrij-kalcij-borata ( $\text{NaCaB}_2\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).

#### **3.2.5. Područje, oblici i granice primjene vode za gašenje požara**

Za gašenje požara upotrebljava se puni mlaz, raspršeni mlaz vode ili vodena magla. Punim mlazom nastoji se zatvoreni tok vode baciti na što veću udaljenost, odnosno do žarišta. U praksi ne postoji idealan puni mlaz jer čim napusti usnac mlaznice, voda nailazi na otpor zraka koji razbija kompaktni mlaz na njegovu obodu. Raspršeni je mlaz preraspodjela mase vode u sitne kapljice, čiji je srednji promjer iznad područja koloidalne veličine. Vodenu maglu čine sitne kapljice prosječne veličine smještene u koloidalno područje, a dobiva se primjenom specijalnih mlaznica visokog radnog tlaka (višeg od 30 bar). Efikasnost vode u gašenju osim o obliku mlaza ovisi i o količini vode utrošene u jedinici vremena, o eventualnim dodacima vodi te o prirodi gorivih tvari u požaru. Primjena vode za gašenje požara u kojima se stvara žar i plamen bazira se na oduzimanju topline tvarima koje gore. Veličina toplinske energije koja pri temperaturi od 273 K do 373 K prelazi na vodu iznosi 0,105 kWh  $\text{kg}^{-1}$ , a dio koji se pretvara u paru iznosi 0,627 kWh  $\text{kg}^{-1}$  ili, ukupno, 0,732 kWh



kg<sup>-1</sup>. Pri upotrebi punog mlaza vode samo se jedan njegov mali dio pretvara u vodenu paru a drugi veći dio, ostaje neiskorišten i često je uzrok pratećih šteta koje nastaju pri gašenju požara. Smatra se da je stupanj iskorištenja punog mlaza 8-10%, što se iskazuje toplinskom energijom od 0,058 do 0,07 KWh, za razliku od raspršenog mlaza, pri kojemu je stupanj iskorištenog mlaza 20 do 25%, što se iskazuje iznosom toplinske energije od 0,145 do 0,185 KWh. Dobre osobine i efikasnost raspršenog mlaza u gašenju požara ograničene su veličinom vodenih kapljica, čiji prosječni promjer ne smije biti manji od 0,3mm da bi se mogle dovoljno daleko baciti, usmjeravati kroz žarište, prodirati pod tlakom i oduzimati gorivoj tvari toplinsku energiju. Iako puni mlaz ima mnogo manji stupanj iskorištenja i u primjeni izaziva određene štete, u praksi je primjena punog mlaza nezamjenjiva, posebno pri gašenju požara klase A. Pri upotrebi vode u zimskim uvjetima, kada je temperatura okoline niža od 273 K, postoji opasnost od smrzavanja vode, odnosno od povećavanja njezina volumena (oko 0,1 volumnih dijelova), a posljedica toga je pucanje i oštećenje cijevi, armatura, pumpi, motora itd. U zimskim uvjetima, kad postoji mogućnost smrzavanja vode, čim se prekine akcija gašenja, cijevi treba isprazniti i spremiti. Primjena sredstava protiv smrzavanja vrlo je skupa, a osim toga, te kemikalije izazivaju koroziju rezervoara. U akcijama gasenja tvari koje upijaju vodu ili bubre u njoj (papir, celuloza, piljevina, treset, sijeno, slama itd.) potrebno je paziti na to da se ubacivanjem vode u prostorije s tim tvarima ne preoptereći nosiva konstrukcija objekta. Osim štete na objektima, nastaju i velike štete na tvarima koje su uskladištene. Uvijek treba primijeniti pravilo da je uspješno gašenje požara s najmanjim utroškom sredstava za gašenje prava umjetnost. Gašenje požara prašinastih tvari vodom također zahtijeva oprez jer puni mlaz može toliko uzviti čestice prašine da se stvori eksplozija smjesa prašine i zraka, koja u određenim uvjetima izaziva eksploziju ili požar. U gašenju požara prašinastih tvari koristi se raspršeni mlaz. Analizom kemijskih i fizičkih osobina vode može se zaključiti da voda kao sredstvo za gašenje nije baš prikladna (bez dodatne obrade i pripreme) za gašenje požara zapaljivih tekućina. Naime, zapaljive tekućine, s plamištem višim od 294 K, mogu se gasiti raspršenom vodom, ako je područje zahvaćena požarom i vrijeme trajanja požara ograničeno, te ako je cijela zona plamena obuhvaćena raspršenim mlazom. Zapaljive tekućine s plamištem iznad 328 K mogu se gasiti raspršenom vodom, iako postoji određena nesigurnost. Zapaljive tekućine plamišta višeg od 374 K, kao što su zemno ulje, katran i slično koje u unutrašnjim slojevima imaju određenu količinu vode, u požaru izazivaju burne reakcije i eksplozije. Voda se u unutrašnjosti zapaljive tekućine s temperaturom paljenja višom od 373 K pretvara u paru koja izbacuje cijeli sadržaj u okolinu. Za požare plinova i tvari koje se pojavljuju u plinskoj fazi, voda nije efikasna. Ona služi samo za hlađenje i zaštitu

konstrukcije, instalacija i objekata u požaru, odnosno u njegovoj neposrednoj blizini, a samo se žarište gasi drugim sredstvima za gašenje ili sprečavanjem dotoka plina zatvaranjem zapornih elemenata. Gašenje požara električnih postrojenja ili instalacija pod naponom vodom, zahtijeva poseban oprez i specijalne metode. Budući da je voda u zatvorenoj masi električki vodljiva, ne preporučuje se primjena punog mlaza, iako do danas nisu poznate nesreće pri gašenju objekata do 1000 V punim mlazom vode s udaljenosti veće od 2 m. Požari uređaja pod naponom mogu se gasiti raspršenom vodom, u uvjetima propisanim VDE-om 0132. Za zaštitu objekata pod naponom na otvorenom prostoru primjenjuju se stabilni automatski uređaji na raspršenu vodu, uz uvjet da su mlaznice udaljene od dijelova pod naponom najmanje 20-30 cm i daje uređaj atestiran.

### **3.2.6. Vodena para**

Za gašenje požara upotrebljava se zasićena i pregrijana vodena para. Najbolji efekt prostornog gašenja požara vodenom parom postiže se u hermetiziranim neventiliranim prostorijama. Vodena se para proizvodi u parnom kotlu (generatoru pare). U fizičkom smislu, parni je kotao velika zatvorena čelična posuda u kojoj se isparuje voda. Isparavanje je takav fizički proces pri kojemu se, dovođenjem topline, kapljevitog agregatnog stanja vode mijenja u plinovito (para). Pri kojoj će temperaturi početi isparavanja, ovisi o tlaku. To znači da su temperatura i tlak veličine koje određuju svojstva i vrstu vodene pare.

Vrste vodene pare su: - mokra para

- suhozasićena para

- pregrijana para

Mokra para je para čija je temperatura jednaka temperaturi kapljevine, odnosno temperaturi zasićenja. To je para koja sadrži sitne kapljice vode. Suhozasićena para je ona u kojoj ispari i posljednja kap vode, a ona još ima temperaturu zasićenja. Pregrijana para je para čija je temperatura iznad temperature zasićenja. Najčešće se upotrebljava pregrijana para, koja je omogućila razvoj suvremenih generatora pare s koeficijentom iskorištenja i do 95%, a uz to je potakla i razvoj turbina, odnosno ekonomičniju proizvodnju električne energije. Danas se u industrijskim energanama upotrebljava tzv. spojni proces, u kojemu se osim proizvodnje pare i električne energije para oduzima s regulacijskih turbina i služi za tehnološke potrebe; Para se upotrebljava za gašenje požara samo na objektima koji raspolažu velikim rezervama pare i

onda kad tehnološki postupak to omogućuje. Svi proračuni za pregrijanu paru gotovo su istovjetni s proračunima za idealni plin.

## 4. PJENE

U suvremenoj protupoarnoj zaštiti pjene igraju značajnu ulogu. U gašenju požara zapaljivih tekućina, posebno nafte i njezinih derivata, pjena predstavlja pouzdano sredstvo za gašenje. Usavršena aparatura za pjene s različitim brojem opjenjenja, kao i niz novih ekstrakata zapaljivih tekućina doprinjeli su da se pjena i sada vrlo mnogo koristi za gašenje požara osobito klase B (požari zapaljivih tekućina)



Slika 3. Gašenje vatre pjenom

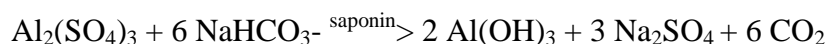
### 4.1. Struktura pjena

Pjena se sastoji od mjehurića čiju opnu čini smjesa-emulzija, a unutrašnjost mjehura je ispunjena ugljikovim dioksidom  $\text{CO}_2$  plinom ili zrakom. Ako je mjehur ispunjen  $\text{CO}_2$  plinom, dobija se kemijska pjena, a ako je ispunjen zrakom imamo zračnu pjenu. Pojave pjene odnosno nastajanje mjehura objašnjava se u tome djelovanjem međumolekulskih sila površinskog napona opne koja nastoji smanjiti slobodnu površinu. Tijekom gašenja zračnim i kemijskim pjenama nema neke bitne razlike, već samo relativne i ona je uglavnom ovisna o uvjetima gašenja i vrsti tvari koja gori. Način gašenja pjenom ima djelomice zagušujuće, a djelomice rashlađujuće djelovanje. Od ova dva načina ne možete tvrditi da je jedan glavni, a drugi sporedni. Od tvari koja gori, ovisi i koji je način gašenja glavni, a koji sporedni.

Rashladni način očituje se u više faza. U početku se jena na temperaturi raspada i vodene kapljice padaju kroz slojeve goriva i isparavaju. Na taj način nastaju mjehuri pare koji struje u vis i smanjuju temperaturu. Zatim dolazi do stvaranja vodene pare koja potiskuje zrak iznad tekućine i odvaja plinsku fazu od tekuće odnosno krute. Odvajanje plinske faze je najvažnije uz rashladno djelovanje i ima svojstvo sprječavanja stvaranja plina. Snižavanje temperature kod nekih požara je neophodno (usijani metali) jer površinski vreli slojevi moraju biti ohlađeni ispod temperature upaljivosti. Pri gašenju požara krutih tvari koje čine žar, rashladno djelovanje ima značajnu ulogu jer prilikom raspadanja pjene koja se odvija polagano, izdvojena voda isparava, a potrebna toplina za isparavanje oduzima se od površinskog sloja tvari koja gori i time je rashlađuje.

## 4.2. Kemijska pjena

Kemijska pjena nastaje djelovanjem kiselih soli (aluminij-sulfata) na alkalne soli (natrij-hidrogenkarbonat), pri čemu se razvija karbonatna kiselina kao sredstvo za punjenje i potiskivanje nastalih mjehurića. Osnovne komponente koje sudjeluju u proizvodnji kemijske pjene jesu  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  i saponin. Osim toga, pjenu se dodaju male količine pektina, koji poboljšavaju postojanost pjene, rezistenciju prema alkoholima, snagu prijanjanja i retenciju vode. Za stabilizaciju kemijske pjene dodaju se metil-celuloza i karboksimetilceluloza. Zbog složenijeg načina proizvodnje, skupih kemikalija i uređaja njezina primjena u gašenju požara je sve manja.



## 4.3. Zračna (mehanička) pjena

Zračna pjena nastaje doziranjem pjenila ili ekstrakta u vodu u masenom udjelu 2 do 6% te dodavanjem treće komponente, zraka, nastaloj mješavini. Cijeli se postupak provodi mehanički, pomoću mješača različitih konstruktivnih izvedbi, mlaznica za pjenu koje rade na injektorskom principu i generatora pjene koji pomoću tlačnog ventilatora u raspršenu mješavinu ubacuju zrak. CAFS je sustav za gašenje komprimiranom pjenu (Compressed Air Foam System) koji omogućuje aktivno i preventivno gašenje požara, a pogodan je kada požar poprima obilježja nekoliko vrsta požara. Zahvaljujući mogućnosti finoga doziranja vlažnosti pjene, višestruko se povećava učinkovitost samo jednoga spremnika vode na vatrogasnom

vozilu. Ova karakteristika dolazi do izražaja poglavito u sredinama s ograničenim količinama vode. Dobro prianjanje na površine svih vrsta čini komprimiranu pjenu izuzetno dobrim sredstvom za gašenje i prevenciju širenja požara. Osnovne komponente zračne pjene su voda, pjenilo (proteinsko, sintetsko, fluoroproteinsko, fluorosintetsko ili univerzalno) i zrak.

#### **4.3.1. Proteinska pjenila (P)**

Proteinska pjenila su viskozne tekućine koje se dobivaju od životinjskih ili biljnih bjelančevina. Nosioci bjelančevina su albumini i globulini. Tvari koje sadrže te proteine produkti su mesne industrije (krv, kosti, rogovi, kopita, čekinje, dlaka, perje, riblje kosti itd.). Sve su te bjelančevine netopljive u vodi. Za proizvodnju pjenila moraju se razložiti biološkim cijepanjem, hidrolizom u neutralnom mediju, hidrolizom u alkalnom mediju ili hidrolizom u kiselom mediju. Da bi se poboljšala kvaliteta pjene, treba joj dodati:

- sredstva za stabilizaciju pjene: soli, organske kiseline
- sredstva za konzerviranje: fenol, Na-benzoat, Sn-soli,  $ZnCl_2$
- sredstva za povećanje topljivosti - saponin
- sredstva za zaštitu od visokih temperatura: etilen-glikol, butilen-glikol, metanol itd.
- sredstva za sprečavanje raspadanje pjene: mokraćevina, uretani

Pjenila na bazi bjelančevina međusobno se bitno ne razlikuju, pa se mogu podjednako i istovremeno primijeniti na istom žarištu.

#### **4.3.2. Fluoroproteinska pjenila (FP)**

Fluoroproteinska pjenila su kombinacija pjeneće proteinske baze i fluori ranoga, površinski aktivnog sredstva. Potrebno je istaknuti da se ta pjenila ne mogu dobiti jednostavnim dodavanjem fluoriranog, površinski aktivnog sredstva standardnom proteinskom pjenilu. Ta pjenila imaju sve karakteristike proteinskog pjenila te dodatne karakteristike koje im daju fluorirani aditivi. Zajednička su im svojstva upotreba u jednakim koncentracijama (3- 6%), primjena istih vrsta uređaja za proizvodnju, slabo korozivno djelovanje (pH oko 7), mogućnost taloženja i polagano taloženje, ekspanzija (5-10), dugi vijek trajanja (pet godina) i velika otpornost pjene na vatru. U specijalna svojstva fluoroproteinskih pjenila ubraja se velika sposobnost tečenja, izvanredna otpornost na kontaminaciju, kompatibilnost s prahom za gašenje požara, mogućnost nanošenja punim mlazom, manji koeficijent nanošenja.

### **4.3.3. Pjenila na bazi fluoroproteina koja stvaraju film (FFFP)**

Pjenila na bazi fluoroproteina koja stvaraju film sastoje se od proteina s površinski aktivnim, fluoriranim supstancijama koje stvaraju film, što ih čini sposobnim da na površini tekućina koje gore stvaraju tanak sloj i tako ne dozvoljavaju vraćanje plamena. Zračne pjene proizvedene od FFFP-pjenila brzo se šire i formiraju slojeve kao i druge pjene, djeluju kao površinska barijera toplinskom zračenju i stvaranju para. Kao i AFFF-pjenila, i one stvaraju kontinuirani plutajući sloj koji se sam zatvara na površinama ugljikovodika u požaru i tako onemogućuje stvaranje eksplozivnih para. Da bi se požar ugasio, sloj FFFP-a, kao i ostale pjene, treba pokriti ukupnu površinu koja gori. Zbog brzog i laganog stvaranja pjene FFFP-pjenila se u mnogim situacijama mogu upotrebljavati i u aparatima koji inače služe za vodu. Pjenilo FFFP-dozira se u masenim udjelima od 3 ili 6% u slatku ili slanu vodu. Može se upotrebljavati sa suhim kemijskim sredstvima (prah) bez inkompatibilnosti. Netoksično je, te se nakon razrjeđenja biološki razgrađuju u prirodi.

### **4.3.4. Sintetska pjenila (S)**

Sintetska se pjenila sastoje od tenzioaktivnih sintetskih supstancija (peptoni). Te tenzioaktivne tvari dobivene su sintezom različitih supstancija kao što su alkoholi, amini i masne kiseline, čiji se ugljikovodikov lanac sastoji od 6-8 atoma ugljika, s agensima koji stvaraju sumpor ( $\text{SO}_3$ , oleum itd.) ili s etilenskim oksidom. Produkti koji nastaju tim reakcijama imaju sposobnost mnogo većeg smanjivanja površinskog napona vodenih otopina nego produkti na proteinskoj osnovi. Na taj se način dobivaju otopine površinskog napona 20-22 umjesto 30-40. Ta njihova osnovna karakteristika omogućuje dobivanje pjena čija su svojstva različita od svojstava proteinskih pjena. Na taj je način moguće proizvesti pjene s omjerima ekspanzije koji se kreću između 5 i 1500, ovisno o uređaju koji se upotrebljava. Pomoću tekućih pjenila na sintetskoj osnovi dobivaju se dovoljno stabilne pjene, omjera ekspanzije 300-400, ali ipak mnogo slabijih gasilačkih karakteristika. Sintetska su pjenila, prema tome, sastavljena od tenzioaktivnih tvari dobivenih sintezom, od supstancija koje stabiliziraju drenažu te od tvari koje sprečavaju smrzavanje, koroziju ili fermentaciju. Surfaktanti hidrokarbonata dodaju se vodi u dozama od 1 do 6%. Kada se te mješavine upotrebljavaju u konvencionalnim uređajima za stvaranje pjene, zračna pjena ima nisku viskoznost i brzo se širi po površinama tekućina. Njezine karakteristike ovise o volumenu pjenastog sloja na određenoj površini koji onemogućuje pristup zraka i kontrolira stvaranje eksplozivnih para. Ti agensi nemaju sposobnost stvaranja filma na površini zapaljive tekućine iako se u nekim uvjetima može

stvoriti trenutna vodenasta emulzija koja je posljedica vlažećeg djelovanja ili osobina detergenta. Zbog niske površinske napetosti i vlažećeg svojstva te se pjene mogu upotrijebiti kao teške pjene za gašenje požara klase A, iako su primarno stvorene za proizvodnju pjena srednje ili velike ekspanzije. Sintetski hidrokarbonati s površinskom aktivnošću obično su manje stabilni nego druge protupožarne pjene. Njihov vodeni sadržaj brzo otječe ostavljajući masu mjehurića koji su vrlo osjetljivi na toplinu ili mehanička oštećenja. Obično se te pjene moraju primjenjivati u većim količinama nego ostale pjene za gašenje da bi se postiglo gašenje. Mnogi koncentri tih pjena razgrađuju ostale pjene ako se upotrebljavaju simultano ili jedne iza drugih.

#### **4.3.5. Fluorosintetska pjenila (AFFF)**

Fluorosintetska pjenila AFFF sadrže duge lance ugljikovodika, uz dodatak fluora i imaju specijalne aktivne površinske karakteristike. Fluorosintetska se pjenila doziraju u vodu u masenom udjelu 1, 3 ili 6% i pomoću mlaznica, aspiracijom zraka, stvaraju pjenu koja izolira vatru od zraka, a pri raspadanju stvara film što lebdi na površini ugljikovodika, hladi ih i sprečava oslobađanje zapaljivih i eksplozivnih para. AFFF-pjene imaju nisku viskoznost te karakteristiku brzog širenja po površinama. Nastali se film širi po cijeloj površini iako ona nije sva pokrivena pjenom. Film se sam nakon mehaničkih oštećenja regenerira i nastavlja se širiti sve dok u blizini postoji dovoljna količina pjene. U usporedbi s proteinskim pjenilima, gustoća nanošenja pjene na štice površine mnogo je manja. AFFF-pjene su otporne na kontaminaciju ugljikovodika, što omogućuje njihovo nanošenje na požare u jakom mlazu. Te se pjene mogu uspješno upotrebljavati i za gašenje kombiniranih požara klase A i B, za koje je potrebno duboko prodiranje vode u kombinaciji s površinskim širenjem pjene. Te su pjene pri gašenju požara ujedno kompatibilne s istovremenom primjenom svakog praha. Ograničenja primjene tih pjenila odnose se na dugotrajne požare, u kojima se pojavljuju vruće površine, te na aromatske ugljikovodike. Za proizvodnju zračne pjene pomoću AFFF-pjenila nisu potrebni uređaji koji proizvode stabilnu homogenu pjenu. U proizvodnji te pjene uspješno se mogu primijeniti uređaji na raspršenu vodu odnosno sprinkler-uređaji. AFFF-pjenila su neotrovnost i biološki razgradljiva.

#### **4.3.6. Pjenila za proizvodnju pjene srednje ili visoke ekspanzije (Syndet)**

Pjenila za proizvodnju pjene srednje ili visoke ekspanzije upotrebljavaju se za kontrolu i gašenje požara klase A i nekih klasa B, te su posebno pogodna kao sredstva za popunjavanje

zatvorenih prostora. Ta se pjena dobiva aeracijom pomoću aspiratora ili ventilatora. U povoljnim uvjetima mogu se proizvesti pjene koje imaju ekspanziju od 20 do 1000. Pjenila koja služe za proizvodnju pjena srednjeg i visokog svojstva širenja sastoje se od sintetičkih hidrokarbonata površinski aktivnih tvari koje se pri maloj turbulenciji obilno pjene. Obično se proizvode 2%-tnim doziranjem pjenila u vodu. Pjene srednje ekspanzije mogu se proizvoditi od fluoroproteina, proteina ili AFFF-pjenila, doziranjem 3 ili 6% pjenila u vodu. Pjene srednje ili velike moći širenja posebno su pogodne za gašenje požara u zatvorenim, ograničenim prostorima. Njihova upotreba na otvorenome može biti ograničena zbog vremenskih prilika. Te pjene mogu djelovati na požare na više načina:

1. proizvedene u dovoljnim količinama, mogu spriječiti dotok zraka potrebnog za daljnje gorenje,
2. uštrcane u žarište ili vatru, vodeni dio ispari, što također smanjuje koncentraciju kisika razrjeđujući zrak,
3. konverzija vode u paru apsorbira toplinu zapaljene tvari. Zapaljeni objekt pokriven pjenom razgrađuje pjenu pretvarajući vodu u paru i tako se sve više hladi,
4. zbog relativno male površinske napetosti pjenaste mase koje nisu pretvorene u paru pokazuju sklonost prodiranja u tvari klase A,
5. kada se akumuliraju u dubini, pjene stvaraju izolirajuću barijeru koja sprečava širenje požara i prijenos požara na susjedne objekte.

Istraživanja su pokazala da upotreba zraka iz unutrašnjosti šticećenih objekata za stvaranje pjene velike ekspanzije ima suprotan efekt na volumen i stabilnost stvorene pjene. Kada kemijski reagiraju sa pjenilom, produkti gorenja i pirolize, mogu smanjiti volumen proizvedene pjene i povećati brzinu otjecanja. Visoka temperatura zraka razgrađuje pjenu. Pjena se fizički uništava i zbog para i čvrstih čestica koje se stvaraju u procesu gorenja. Smanjenje efikasnosti pjene što ga uzrokuju ovi faktori moguće je kompenzirati većom brzinom stvaranja pjene. Ulazak u prostore napunjene pjenom dozvoljeno je samo uz upotrebu izolacijskih aparata. Masa pjene smanjuje čovjekovu vidljivost i oslabljuje sluh, pa se moraju upotrebljavati konopci kojima su ljudi međusobno povezani pri ulaženju u pjenu.

#### **4.3.7. Alkoholna pjenila (AR)**

Zračne pjene proizvedene pomoću uobičajenih pjenila podložne su brzom razgrađivanju i smanjenju djelotvornosti kada se upotrebljavaju za gašenje požara tvari topljivih u vodi, koje



se mogu miješati s vodom ili su tipa polarnih otapala. Takve su tvari alkoholi, lakovi i razrjeđivači, metil-etil-ketoni, acetoni, izopropilni eter, akrilonitril, etil-acetati i butil-acetati, amini i anhidridi. Čak i male količine tih tvari pomiješane s običnim ugljikovodicima kao što je gasohol mogu izazvati brzu razgradnju uobičajenih pjena za gašenje požara. Stoga se za gašenje takvih tvari upotrebljavaju specijalna alkoholna pjenila. Ta na alkohol otporna pjenila sadrže proteinsku, fluoroproteinsku ili vodenu koncentriranu bazu, koja stvara pjenu u obliku filma. Najčešće se opisuju kao polimerna, na alkohol otporna AFFF-pjenila, koja stvaraju pjene pogodne za upotrebu pri prolijevanju zapaljivih tekućina ili pri dubinskim požarima te za požare ugljikovodika koji se miješaju s vodom. Pokazuju AFFF-osobine i na hidrokarbonatima, proizvode plutajući gel kao masu za stvaranje pjene na gorivima koja se miješaju s vodom. Pjenila tog tipa nemaju određeni rok trajanja. Normalne temperature za upotrebu tih pjenila kreću se od 1,7 do 49 °C.

#### **4.3.8. Pjenila koja stvaraju pjenu pri niskim temperaturama**

Taj tip pjenila zaštićen je za upotrebu pri niskim temperaturama dodatkom depresora ledišta. Pjenila koja stvaraju pjenu pri niskim temperaturama mogu se upotrebljavati na temperaturi okoline do -29 °C. Proizvode se na bazi AFFF-a ili proteina, a doziraju se u postotku 3 ili 6 u slatku ili slanu vodu.

#### **4.3.9. Univerzalna pjenila**

Na početku osamdesetih godina na tržištu su se pojavila i univerzalna pjenila prikladna za upotrebu u požaru. ugljikovodika i polarnih otapala. Sastoje se od sintetičkih tekućih pjenila i AFFF-a, kojima su dodani polisaharidni polimeri. Oni u dodiru s otapalima kao što su alkoholi ili ketoni ispod pjene stvaraju polimerni sloj koji izolira pjenu od otapala, inače bi ona imala moć dehidratacije i razorila bi samu pjenu. Nova univerzalna tekuća pjenila razvila su se zbog pojave velikih količina različitih otapala u industriji i prijevozu. Pronalaskom univerzalnih tekućih pjenila upotrebljava se samo jedna. vrsta pjenila za sve tipove otapala, čime se pojednostavnjuju postrojenja za protupožarnu zaštitu i sprečavaju moguće greške zbog upotrebe različitih tipova pjenila.

#### **4.3.10. Tehnički podatci pjene**

Teška pjena se koristi i kod požara drugih zapaljivih tvari, osobito u kemijskim industrijama gdje se zahtjeva pokrivanje površine kao i kod brojnih objekata gdje se mora dobiti rashladno

sredstvo. Tako je kod požara vrelog metala preko čega se prelijeva tekućina. Teška pjena se koristi i za gašenje požara krutih tvari (klasa A) kao što su drvo, teksitl, ugljen, slama itd. Srednja i laka pjena rijetko se mogu koristiti kod požara na slobodnim prostorima, a najčešće se upotrebljavaju kod gašenja požara u zatvorenim prostorima. Pjena ulazi u manje otvore i pukotine, a kako se kreće u smjeru nadiranja svježeg zraka, to znači da se kreće u smjeru požara. Provodljivost struje opada s brojem opjenjenja. Pri planiranju i projektiranju zaštite od požara, posebno stabilnih protupožarnih postrojenja, moraju se pri izboru pjene uzeti u obzir zahtjevi gašenja i drugi uvjeti koji utječu na gašenje. Karakteristike pjene isključivo ovise o pjenilu i aparaturi koja se primjenjuje.

Tablica 4. Omjer dobivanja pjene

| Broj opjenjenja | Specifična težina | Količina vode (l/m <sup>2</sup> ) | Domet (m) |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|
| 6-12            | 0,16-0,08         | 160-80                            | 15-45     |
| 50-75           | 0,02-0,012        | 20-13                             | Do 7      |
| 100-150         | 0,01-0,006        | 10-6                              | 2         |
| 500-1000        | 0,002-0,001       | 2-1                               | -         |

#### 4.3.11. Laka voda

Light Water je pjenilo AFFF (Aqueous Film Forming Foam) koje s vodom stvara vodeni film. "Dalmacija" iz Dugog Rata proizvodi Light Water AFFF 6%-tni u suradnji s američkom kompanijom 3M. To je fluorosintetička tekućina koja s morskom i slatkom, ustajalom ili tekućom vodom stvara pjenu. Ovo se pjenilo upotrebljava za gašenje požara klase B. Ako se primjenjuje u odgovarajućim uređajima za pjenu visoke ekspanzije ili u stabilnim uređajima za raspršenu pjenu, osigurava izvanredno djelovanje pri gašenju požara zapaljivih tekućina. Niska površinska napetost tog agensa također osigurava odličnu penetraciju i vlaženje predmeta zaštite, osobito tvari klase A. To je vrlo važno pri gašenju razbuktalih požara gumenih materijala.

Tablica 5. Karakteristike pjenila za laku vodu

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Izgled              | Žuta tekućina |
| Ledište             | -3°C          |
| Miješanje/doziranje | 6%            |
| Specifična težina   | 1,033         |
| Broj opjenjenja     | 7 do 11       |

|            |                           |
|------------|---------------------------|
| Radni tlak | 6- 10. 10 <sup>5</sup> Pa |
| Aparatura  | Aparatura za tešku pjenu  |

## 5. PRAH

Prah za gašenje požara je sredstvo koje na požar djeluje antikatalitički, gušenjem, rashlađivanjem i prekrivanjem (odnosno izoliranjem). Kao što je brzina izgaranja važna za razvoj požara, isto je tako bitan i omjer vanjske površine prema masi tvari koja sudjeluje u požaru. Taj se zaključak može primijeniti i na svojstva za gašenje požara jer što je veći omjer površine čestica praha za gašenje prema ukupnoj masi praha, razvija se veći otpor daljem sagorijevanju. Aktivna vanjska površina praha zauzima oko 3000-5000 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. Paralelno s povećanim opasnostima od požara i razvojem industrije, javlja se i potreba za novim sredstvima za gašenje jer sama voda ne može poslužiti kao jedino učinkovito sredstvo za gašenje. Isto tako uvođenje pjene i ugljikovog dioksida kao sredstva za gašenje nisu u potpunosti bili zadovoljeni uvjeti gašenja. Tako su mnogi zahtjevi koji ne mogu biti ispunjeni ili su djelomično ispunjeni pri gašenju vodom, pjenom ili ugljikovim dioksidom, zadovoljeni upotrebom praha za gašenje, kao što su: mogućnost gašenja električnih uređaja pod naponom, potpuna neotrovnost i neškodljivost u odnosu na čovjeka i materijale, otpornost prema smrzavanju i mogućnost gašenja i pri najnižim temperaturama, mogućnost gašenja gotovo svih vrsta požara (klase A,B,C,D i F) i velika moć gašenja. Ovo ipak ne znači da se gašenju prahom mogu pripisati univerzalne mogućnosti. Primjena suhog gašenja ima za sobom skoro šezdesetogodišnji razvoj. U početku je uporaba praha bila ograničena samo na ručne protupožarne aparate. Poslije II svjetskog rata razvojem protupožarne tehnike omogućeno je uvođenje velikih vatrogasnih jedinica na vatrogasnim vozilima. U zadnje vrijeme uvode se i stabilna protupožarna postrojenja velikih kapaciteta i to s automatskim aktiviranjem. Izvjestan zastoj primjene praha velikih jedinica nastao je zbog teškoće prolaza praha kroz cijevi. Tehnička poboljšanja gibljivosti praha kroz cijevi, dužine i preko 30m, dovela su do uvođenja velikih vatrogasnih jedinica s prahom u vozilu i stabilna protupožarna postrojenja. Čestice praha imaju promjer od 5 do 120μ. Čestice promjera manjeg od 20 i većeg od 80 μ zauzimaju 3-5% ukupne mase, a područje od 35 do 55 μ smatra se najbrojnijim i najefikasnijim. Za gašenje požara proizvode se tri osnovne vrste praha:

1. prah na bazi natrij-bikarbonata i kalij-bikarbonata, namijenjen žarištima A, B i C , pa se zbog toga i naziva ABC-prah;



Slika 4. Vatrogani aparat ABC-prah

2. prah na bazi amonij-fosfata, namijenjen svim vrstama žarišta A, B, C, D i F, pa se naziva i univerzalni ili ABCDF-prah



Slika 5. Naljepnica za ABCDF-prah

### 5.1. Kemijski sastav

Najviše korišten u tehnici gašenja bio je i još je uvijek prah na osnovi natrijevog bikarbonata i zato je ovaj prah najviše i usavršavan u proizvodnji. Iako danas postoji veliki broj proizvođača praha za gašenje, najpoznatiji recept, koji su uglavnom prihvatili svi proizvođači. Učinkovitost gašenja ovisi od načina pripreme i od načina proizvodnje praha. Veličina i oblik zrna imaju utjecaj na kakvoću praha. Oblik zrna tj. njegova specifična površina, ovisi o tehnološkom postupku proizvodnje. Zadatak dodatnih sastojaka praha je da osigura pokretljivost praha i njegovu antihigroskopsnost. Antihigroskopsnost praha postiže se time što se zrno praha obavije tankim slojem silikonili pomoću metalnih stearata (magnezijev ili aluminijeva stearata), koji također površinski obrađuje radi smanjenja higroskopsnosti. Prah

ABC može uz natrijev bikarbonat sadržavati alkofofosfat, amonije sulfat, borate, bjelančevitaste i ugljikohidratne dodatke. Tako bi sastav za pripremu jednog ABC praha mogao biti sljedeći:

- 40 dijelova natrijeva bikarbonata
- 15 dijelova kalcijeva bikarbonata
- 20 dijelova produkata polimerizacije triizocijanata s jednim poliesterom
- 23 dijela diamonijeva sulfata
- 2 dijela aluminijska stearata

## **5.2. Fizička svojstva praha za gašenje požara**

### **5.2.1. Veličina čestica**

Veličina čestica određuje se sitenom analizom. Veličina čestica ovisi o specifičnoj površini i nasipnoj masi te je za različite vrste praha različita. Srednja vrijednost promjera čestica praha Monex iznosi 31  $\mu$ , a gramčne se vrijednosti kreću od 28 do 35  $\mu$ .

### **5.2.2. Nasipna masa**

Nasipna masa je omjer mase čestice i volumena neke posude, a izražava se u  $\text{g cm}^{-3}$ . Na osnovi vrijednosti nasipne mase, određuje se masa praha kojim se pune aparati za gašenje požara. Nasipna masa za ABC-prah iznosi 0,8-0,95  $\text{g cm}^{-3}$ , za ABCDF-prah 0,75-0,85  $\text{g cm}^{-3}$ , a za Monex 0,58-0,65  $\text{g cm}^{-3}$

### **5.2.3. Gustoća**

Gustoća označava omjer mase praha u odnosu prema volumenu praha. Gustoća ABC-praha iznosi 2,17-2,21  $\text{g cm}^{-3}$ , gustoća ABCDF-praha iznosi 1,7-1,9  $\text{g cm}^{-3}$

### **5.2.4. Specifična površina**

Specifična se površina mjeri u  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ . Za ABC-prah ona iznosi 1500- 2700  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ , za ABCDE-prah 2000-3000  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ , a za Monex 5500-6500  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ .

### **5.2.5. Hidrofobnost**

Hidrofobnost je svojstvo otpornosti praha na vodu. Poznato je nekoliko metoda ispitivanja hidrofobnosti - metoda filtracije, kapljica, potapanja u vodi i refraktometrijska metoda.

### **5.2.6. Sadržaj vlage u prahu**

Sadržaj vlage u prahu određuje se metodom isušivanja u sušionici, na povišenoj temperaturi ili na temperaturi okoline. Metoda za ispitivanje apsolutnog sadržaja vlage provodi se sušenjem na normalnoj temperaturi, uz prisustvo tvari koje vežu vodu. Postupak traje 48 sati. Gubitak mase tom metodom ispitivanja iznosi 0,01-0,02%.

### **5.2.7. Svojstvo protjecanja i sipkosti**

Prah (4 kg) se iz posude kroz spiralnu cijev ( $l = 6\text{m}$ ) pod određenim tlakom (10 bar) utiskuje u drugu posudu. Nakon izjednačavanja tlaka ostatak praha u prvoj posudi i cjevovodu ne smije biti veći od 20% ukupne mase praha. Umjesto protjecanja, pomoću međusobno spojenih tikvica (pjesčani sat) može se ispitivati sipkost praha mjerenjem vremena potrebnog da se prah iz jedne tikvice prespe u drugu.

### **5.2.8. Otpornost na vibracije i tlak**

Napunjeni aparat s prahom za gašenje požara izloži se vibracijama zbog kojih se smanjuje njegov volumen za 10-15%. Prah nakon toga ne smije imati smanjena gasilačka svojstva (domet mlaza i efikasnost gašenja). Ispitivanje otpornosti na tlak obavlja se u jednoj posudi, na situ sa 400 g praha, pod tlakom 20 bar u toku 10 minuta. Nakon završenog ispitivanja prah na mrežici se ne smije zgrudati.

### **5.2.9. Stabilnost praha pri promjeni temperature**

Niske temperature ne djeluju negativno na primjenu praha za punjenje vatrogasnih aparata. Povišene temperature mogu izazvati sinterizaciju zbog sadržaja stearinske kiseline koja se počinje taliti. Držanjem praha u posudi pri povišenoj temperaturi utvrđuje se hoće li se nakon određenog vremena (72 sata) zgrudati.

### **5.2.10. Elektrovodljivost praha**

Prah za gašenje požara ne smije biti električni vodič, odnosno može biti slab vodič koji ne ugrožava gasioca. Ispitivanje elektroprovodljivosti provodi se na više načina. Na metalnu ploču ( $1\text{ m}^2$ ) pod naponom 100 kV usmjeruje se mlaz praha s udaljenosti 2 m i utvrđuje jakost struje u ploči prije i u toku djelovanja mlaza praha ili se mjeri jakost struje u aparatu u toku djelovanja mlaza praha na metalnu ploču pod naponom. Jakost struje mora biti ispod granice koja je opasna za čovjeka.

### **5.2.11. Abrazivnost praha**

Prah za gašenje požara mora sadržavati uglavnom meke komponente anorganskih soli. Prahu se ne smiju dodavati tvrde komponente kao što su pijesak, korund i kvarc, koji mogu izazvati mehanička oštećenja na predmetima koje gasimo. Prah ne smije biti abrazivan.

### **5.2.12. Korozivnost praha**

Suhi prah ne djeluje korozivno. Samo u izuzetnim slučajevima, kada ABC-prah dođe u kontakt s vodom, on izaziva koroziju metala, ili kada ABCDF-prah u požaru oslobađa amonijak, može izazvati koroziju obojenih metala.

## **5.3. Toksična svojstva**

Prah na bazi natrij-bikarbonata potpuno je neotrovan. Pri višim temperaturama ne raspada se na komponente koje štetno djeluju na čovjeka i životinje. Prah na bazi kalij-bikarbonata u suhom je stanju toksički bezopasan. U kontaktu s vlagom (pljuvačka, suzenje očiju) stvara male količine kalijeve lužine koja nadražuje sluznicu i kožu. Pri raspadanju u požaru ne stvara nikakve štetne komponente. Prah na bazi amonij-fosfata u požaru stvara male količine amonijaka koji se pomiješa s ostalim plinovima izgaranja. Njegovu štetnost treba promatrati više kao štetnost lužine koja djeluje na dišne organe. Osim manjih količina štetnih printjesa specijalnih prahova za gašenje požara metala, svi su ostali prahovi toksički bezopasni.

## **5.4. Postojanost i dugorajnost**

Prah se može upotrebljavati čak i kada bi se i po nekoliko godina nalazio u tijelu aparata. On mora dobro istjeati i ne smije se skrućivati u aparatu ukoliko se nije ovlažio. Ovu osobinu antihigroskopnosti lako je provjeriti: količina od dvije žlice praha stavi se u vodu i ostavi dva tjedna. Nakon što se izvadi iz vode, jezgra praha mora biti još uvijek suha.

## **5.5. Električna izolacija**

Od praha, kao sredstva za gašenje, tražilo se svojstvo visoke izolacije od električne struje kako bi osobe koje gase požare na uređajima s jakom strujom bile zaštićene od opasnosti električnoog udara. To znači da oblak praha koji se stvara prilikom gašenja ne provodi električnu struju, ispitivanja prenošenja struje visokog napona preko mlaza praha pokazala su vrlo malu vodljivost koja je toliko mala da ne predstavlja opasnost za gasitelje. Mjerenja i ispitivanja svojstva električne izolacije praha vršena su na više načina. Tako je aparatom od

12 kg i mlaznicom gašeno pri naponu od 30kV izmjenične struje na udaljenosti od oko 50 cm između mlaznice i metalne rešetke sa strujnim kolom. Kroz izoliranu cijev prolazio je mlaz praha od mlaznice do rešetke. Može se zaključiti da se preko oblaka praha ne može ostvariti protok električne struje no pod uslovom da pri tome nije prisutan plamen. Ako je istodobno prisutan i plamen, uvjeti se mijenjaju. U središtu požara prah se može zapeći i na taj način omogućiti protok električne struje.

## **5.6. Primjena praha u gašenju**

Prema dosadašnjem iskustvu u primjeni, suhi prah se može koristiti za gašenje svih klasa požara, no njegovu univerzalnost u gašenju požara treba tako shvatiti da on neke požare ne može sam uspješno gasiti, već samo u kombinaciji s drugim sredstvima. To je kod gašenja požara zapaljivih tekućina koje se prelijevaju preko vrelog metala gdje se uspješno požar može gasiti samo rashladnim djelovanjem. To je gašenje zrakoplova i tada je neophodno koristiti prah i pjenu istodobno. Prah ugasi plamen, dok pjena djeluje izolirajuće i rashlađujuće. Požari klase A (drvo, slama, papir itd.), požari klase B (požari benzena, benzolja, etera, lakova itd.), požari klase C (požari zapaljivih plinova: propana, butana, acetilena, vodika i dr.) gase se prahom oznake ABC koji je najčešće u primjeni. ABC prah omogućuje njegovu primjenu u gašenju požara zapaljivih tekućina i plinova na principu antikatahtickog djelovanja i ugušivanja. U gašenju požara zapaljivih plinova pod visokim tlakom, prah je bolji od svih sredstava za gašenje. U zadnje vrijeme primjenjuju se aparati napunjeni univerzalnim prahom, onda se mogu gasiti uspješno požari klase D (požari lakih metala kao što su aluminij, natrij, kalij, magnezij) i klase F (požari masti i ulja). Takav prah ima oznaku ABCDF-prah koji djeluje antikatalitički, ugušujuće, rashlađujuće i izolirajuće. Zajedničkim djelovanjem svih navedenih efekata uspješno se gase sve ostale klase požara.. Na požarima lakih metala aluminijska i njegovih legura te magnezija, natrija i kalija primjenjuje se specijalni prah koji ponajprije djeluje efektom izolacije i rashlađivanja. Na površini tvari u požaru se topljenjem ili sinteriranjem stvara zaštitni pokrivač koji onemogućuje pristup zraku i hladi gorive površine. Nanošenjem praha na takve požare treba polako postići željeni efekt. Pri požarima prašine, pri kojima uskovitlana prašina može biti uzrok velikog požara i eksplozije, specijalnim se prahom provodi inertizacija prostora. Po europskoj normi EN2, ranije je bila predviđena i klasa požara E. Vrijedila je za požare u električnim instalacijama slabe struje (do 1.000 volti). Međutim, ta norma je odbačena, tako da se svi vatrogasni aparati mogu koristiti kod instalacija slabe struje, sve dok se poštuje najmanja propisana sigurnosna udaljenost navedena na vatrogasnom aparatu.





Slika 6. Gašenje vatre prahom

### 5.6.1. Protupožarna lopta

Protupožarna lopta je revolucionarni samodetonirajući proizvod dizajnirana i namijenjen kako bi ugasio plamen. Vrlo brzo nametnula se kao standardni proizvod sigurnosti na tržištu zaštite od požara. Stvorena je kao odgovor na kontinuirani rast gustoće urbane zajednice koja je svakodnevno suočena s velikim rizikom od potencijalnih katastrofa koju mogu izazvati požari. Tu je i velik broj računalne opreme koja je dakako potrebna u današnje vrijeme, a to znači da s time i potreba proaktivne sigurnosti i mjera zaštite od požara stalno raste. Protupožarna lopta ima sve potrebne kvalitete i prednosti da zasjeni sve svoje prethodnike i da se nametne kao prestižan proizvod na tržištu.

Tehnička svojstva:

- Težina smjese praha za gašenje: 1.27 +/- 0.20 kg
- Ukupna težina: 1.50 +/- 0.20 kg
- NEC: 0.40 kg
- Promjer: 15 cm
- Zvučni signal upozorenja: 120-140 db(A)
- Vrijeme aktivacije: 3 – 10 sekundi
- Osigurava gašenje plamena u udaljenosti od 8 – 10 metara

- Vrsta proizvoda: ostala pirotehnička sredstva, sredstva za pirotehničko gašenje  
Preporučuje se za gašenje požara i nadzor za sljedeće vrste požara:
- Klasa A – zapaljivi materijali (drvo, papir, tkanina, otpad)
- Klasa B – zapaljive tekućine
- Klasa C – zapaljivi plinovi



Slika 7. Protupožarna lopta na stalku

#### 5.6.1.1. Kako radi?

Jednostavno baciti protupožarnu loptu u vatru. U roku 3 – 10 sekundi nakon kontakta s plamenom, osigurač unutar lopte detonira fitilj na površini. U tom trenutku nastaje eksplozija i kemikalija u prahu se raspršuje na površini od 8 – 10 m<sup>2</sup>. Vanjska pokretačka snaga pod pritiskom istiskuje kisik iz područja plamena i prah gasi plamen. Upravo iz razloga što se samoaktivira, nisu potrebne posebne vještine ili prethodna obuka kako bi se lopta koristila. Dostupna je i jednostavna za svakoga tko ju koristi. Loptu je potrebno jednostavno iz sigurne

udaljenosti zakotrljati ili baciti u ili prema bazi plamena. Prilikom detonacije lopta daje jasan zvučni signal jačine 120-140 db(A) što nije štetno po zdravlje ljudi.

- **Aktivna primjena:** kada se dogodi požar, jednostavno ubaciti loptu u vatru. Lopta prirodno pada u bazu plamena i aktivira se u roku 3-10 sekundi. Nikakve mehaničke operacije ili posebna obuka i vještine za rukovanje nisu potrebne. Težina lopte je 1.5 kg, promjera 15 cm i vrlo je jednostavna za korištenje.
- **Preventivna primjena:** jedna od najvažnijih prednosti Elide Fire protupožarne lopte je da se sama detonira u prisutnosti plamena. Ako je postavljena u visokorizičnim područjima od požara, u trenutku izbijanja plamena sama će se aktivirati i ugasiti vatru.

Najefikasniji način pasivne primjene je montaža lopte na zid iznad najosjetljivijih mjesta. Pored postavljanja na zid lopta se može postaviti i na ravnu, vidljivu i lako dostupnu površinu. Neka preporučena visokorizična mjesta od izbijanja požara su: opterećene utičnice, serveri i server sobe, prekidači, uređaji za napajanje, pećnice, kamini i slično.

## 6. UGLJIKOV DIOKSID- CO<sub>2</sub>

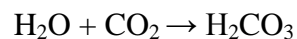
U suvremenoj zaštiti od požara plin ugljikov dioksid ima veliku primjenu. Kao sredstvo koristi se u ručnim – prijenosnim aparatima i specijanim vatrogasnim vozilima i stabilnim protupožarnim uređajima. Osnovni efekt gašenja sa CO<sub>2</sub> jest ugušivanje, odnosno smanjivanje koncentracije kisika. Ugljikov dioksid istovremeno djeluje i ohlađujuće (1 kg suhog leda pri sublimaciji potroši 0,177 kWh kg<sup>-1</sup>). Za ugljikov dioksid postoje razvijena aparatura i sustavi, a isto tako veliko iskustvo jer se ugljikov dioksid i inače mnogo koristi u industriji. Po svojoj stabilnosti ovo postrojenje nalazi primjenu odmah nakon splinker uređaja. Svojstva i sposobnost gašenja ugljikovim dioksidom se poboljšavaju miješanjem s drugim plinovima, prije svega brom metilom, čime se učinak gašenja povećava za 2 do 4 puta. Na taj način može se koristiti širi temperaturni interval, a stupanj punjenosti za iste tlakove je veći. Ugljikov dioksid se najčešće koristi i kao pogonsko sredstvo za izbacivanje praha iz tijela aparata za gašenje koji su punjeni suhim prahom. Ugljikov dioksid ima najveću primjenu u kemijskoj industriji i to pri gašenju požara na električnim instalacijama, požara na skupim i preciznim uređajima gdje se moraju izbjeći oštećenja, požara u objektima gdje su vrijednosni predmeti (arhive, bolnice, muzeji) kao i požara živežnih namirnica.



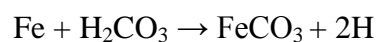
Slika 8. Gašenje vatre ugljikovim dioksidom-CO<sub>2</sub>

### 6.1. Kemijska svojstva

Ugljik-dioksid je kiselkasti plin kemijske oznake CO<sub>2</sub>, koji nastaje pri potpunom sagorijevanju ugljika i pri drugim kemijskim reakcijama kao što su termička raspadanja NaHCO<sub>3</sub> i KHCO<sub>3</sub>, pri djelovanju kloridne kiseline na mramor. Relativna gustoća (zrak = 1) iznosi 1,529; dakle teži je od zraka za 1,5 puta pa se skuplja u donjim dijelovima prostorija. Vrlo je korozivan, tj. s vodom daje ugljičnu kiselinu po formuli:



A koja je vrlo korozivna po fomuli:



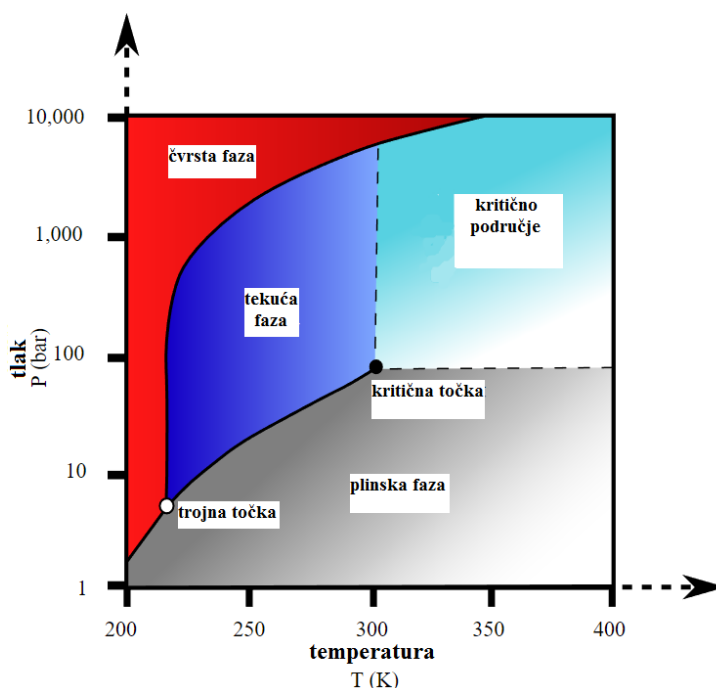
Vrelište pri tlaku od 1 bara iznosi 194.63 K. Čisti zrak sadrži 0,03-0,04 % ugljičnog dioksida, nečisti oko 0,3 %, a štetnim se smatra veća koncentracija od oko 1 %. Pri većim koncentracijama osobito djeluje na centar za disanje u mozgu čiji rad pojačava što dovodi do glavobolje i znojenja, a znakovi gušenja se razlikuju: disanje je mnogo jače, a smrti ne prethode grčevi. Ugljični dioksid je zagušljivac koji se ne može u cijelosti svrstati u inertne plinove koji ne podržava gorenje, a u udjelu većem od 14% počinje gušiti požar. Nalazimo ga slobodnog u zraku, u mnogim mineralnim vodama i vezanog u tlu u kalcij-karbonat. Kemijski spoj CO<sub>2</sub> vrlo je postojan i nije elektrovodljiv. Tek pri temperaturi višoj od 2 573-2 973 K raspada se na ugljik-monoksid (CO) i kisik.

Tablica 6. Odnos volumena CO<sub>2</sub> prema masi ovisno o temperaturi

| Temperatura T/K                          | 243 | 253 | 263 | 273 | 283 | 293 | 303 | 313 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Specifični volumen, $v/L\text{ kg}^{-1}$ | 449 | 480 | 487 | 508 | 525 | 544 | 565 | 581 |

## 6.2. Fizikalna svojstva

Ugljikov dioksid je tipično relani plin i ponaša se različito od drugih plinova koji se ponašaju slično idealnom plinu (vodik, kisik, dušik). To znači da njegovo ponašanje dosta odstupa od zakona datim jedandžbama za idealne plinove. Specifična težina i specifični volumen mijenjaju mu se s temperaturom. Pri određenoj temperaturi i tlaku nalazi se u tekućem stanju uskladišten u čeličnim bocama na malom prostoru. Pri temperaturi od 304,3 K (kritična temperatura) i tlaku 73 bar (kritični tlak) ugljikov dioksid nalazimo samo u plinovitom stanju. Za gašenje požara važan je odnos volumena plinovitog CO<sub>2</sub> prema tekućemu. Kao što je iz tablice vidljivo, s porastom temperature povećava se volumen plina, odnosno s padom temperature njegov se volumen smanjuje. To se u praksi manifestira porastom ili padom tlaka, jer je volumen boce konstantan. Ako se tekući CO<sub>2</sub> ohladi u staklenoj posudi, on se skrutne i nastane led koji se tali pri 216,3 K uz vlastiti tlak 5 bar. Pri atmosferskom tlaku i temperaturi 194,5 K sublimira kruti CO<sub>2</sub>, a da se pri tome ne tali. Iz toga se može zaključiti da se CO<sub>2</sub> pojavljuje u sva tri agregatna stanja. Trojna točka je mjesto gdje se CO<sub>2</sub> pojavljuje u sva tri agregatna stanja, a nalazi se pri tlaku  $p = 5,3\text{ bar}$  i temperaturi  $T = 216,3\text{ K}$



Slika 9. P-T dijagram CO<sub>2</sub>

### 6.3. Karakteristike punjenja

Ugljikov dioksid se skladišti i čuva u čeličnim bocama ili velikim rezervoarima kao pothlađeni plin pod tlakom 25 bar. Za skladištenje u čeličnim bocama vrlo je važan faktor stupanj punjenja, koji pokazuje odnos volumena boce prema masi CO<sub>2</sub> u njoj. Tako stupanj punjenja 1,34 znači da se 1 kg CO<sub>2</sub> puni u 1,34 L volumena boce. Boce volumena 40 litara imaju količinu oko 30,4 kg ugljikova dioksida odnosno boce volumena 60l imaju oko 45,6 kg ugljikova dioksida. Najveći kapacitet boce odgovara stupnju punjenja 1,34. Pri tom stupnju punjenja, ovisno o temperaturi, tlak u bocama iznosi:

- pri 273 K  $p = 37$  bar
- pri 293 K  $p = 57$  bar
- pri 313 K  $p = 132$  bar
- pri 333 K  $p = 216$  bar

### 6.4. Toksična svojstva

Kod primjene ugljikova dioksida za gašenje u zatvorenim prostorijama (što je najčešće kod stabilnih uređaja) može se pojaviti opasnost za osobe koje se zatekle u tim prostorijama. Teškoća primjene u takvim uvjetima je u tome što se za učinkovito gašenje zahtijeva znatno veća koncentracija od one koja je neškodljiva za organizam. Prema JUS-u, maksimalna dopuštena koncentracija MDK za CO<sub>2</sub> iznosi 5000 ppm. Ugljikov dioksid u osnovi istiskuje zrak iz prostora u kojemu se nalazi. Do udjela od 2,8% djeluje povoljno, ubrzava disanje i osvježuje čovjeka. U udjelu većem od 5% ubrzava disanje i počinje glavobolja i zujanje u ušima. Pri udjelu od 8 - 10% odumire centar za disanje i javlja se nesvjestica, dok pri 20% već nakon nekoliko minuta nastupa oduzetost živčanog sustava. Pri koncentraciji od 25 % nastupa brza smrt. Srce ljudi koji su bili izloženi djelovanju CO<sub>2</sub>, još neko vrijeme radi jer ugljikov dioksid nije otrovan plin. U nesrećenoga treba hitno iznijeti na čisti zrak i pružiti mu umjetno disanje odnosno prvu pomoć.

### 6.5. Primjena i ograničenja u primjeni CO<sub>2</sub>

Ugljikov dioksid se može upotrebljavati za gašenje požara na tri različita načina, i to kao CO<sub>2</sub>-plin, CO<sub>2</sub>-snijeg (suhi led) i kao CO<sub>2</sub>-aerosol (male čestice čvrstih tvari u plinu). Pri gašenju požara zapaljivih tekućina najbolji se rezultati postižu snijegom (suhim ledom) jer CO<sub>2</sub> kao snijeg pliva na površini zapaljive tekućine i sublimira u plin. Ugljikov dioksid u

obliku aerosola također služi za gašenje zapaljivih tekućina, ali samo manjih požara na uređajima s finim metalnim kontaktima i sistemom za upravljanje. Gašenje požara električnih uređaja sa CO<sub>2</sub> primjenjuje se bez ograničenja, jer CO<sub>2</sub> nije vodič elektriciteta. Potrebna je opreznost u visokonaponskim postrojenjima, gdje su dijelovi uređaja od porculana osjetljivog na vrlo niske temperature, pa se treba pridržavati propisa VDE 0132. Prednost CO<sub>2</sub> u gašenju jest to što je odmah spreman za djelovanje što je u nekim područjima, naprimjer pri požaru u uljnim kupkama, laboratoriju itd. veoma bitno. Brz početak gašenja požara sprečava pojavu i širenje požara u ljekarnama, medicinskim skladištima, skladištima prehrambenih artikala i muzejima. Za požare pri kojima se pojavljuje žar CO<sub>2</sub> nije efikasan. U zatvorenim prostorima požar se uspješno gasi koncentracijom CO<sub>2</sub>-plina od 25 do 30%. To vrijedi i za prostore u kojima koncentracija kisika padne ispod 14%. Ugljikov dioksid se ne smije koristiti za gašenje reaktivnih tvari (laki metali), metalnih hidrida i sl.

## 7. HALONI

Naziv halon je skraćenica iz engleskog jezika (halogenated hydrocarbon), a označava skupni pojam za halogenizirani ugljikovodik koji ima sposobnost gašenja požara. Kad se u ugljikovodiku jedan ili više vodikovih atoma zamijeni halogenim elementima (fluorom, klorom, bromom, jodom), dobiju se halogenizirani ugljikovodici. Osnovni princip gašenja požara balonom sastoji se od antikatalitičkog (inhibitorskog) djelovanja balona na reakciju gorenja. Halogenizirani se ugljikovodici na temperaturi požara raspadaju, zbog čega nastaju slobodni radikali koji vežu reakcijske lance gorenja i tako prekidaju njegov lančani tok. Zakon o zaštiti životne sredine zabranjuje uvoz, proizvodnju i stavljanje u promet supstanci koje oštećuju ozonski omotač. Haloni pripadaju supstancama koje uništavaju ozonski omotač. Zbog uništavanja ozonskog sloja haloni su u razvijenim zemljama izbačeni iz upotrebe 1. siječnja 1994., dok je za zemlje u razvoju u koje spada i Hrvatska određen krajnji rok 1. siječnja 2010. Izuzetak je primjena halona za kritične namjene. Na osnovu dozvole Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine (Član 4 propisa EU2037/2000), moguće je za posebne namjene koristiti halonske aparate u slijedećim slučajevima:

- \* U avionima - za gašenje požara motora, za zaštitu kabine za posadu i tovarnog prostora
- \* Za osobnu zaštitu službenih lica (vojska, policija, vatrogasci)



Slika 10. Primjena halona u zrakoplovu

Hrvatska se obvezala na ograničavanje uporabe potrošnje tvari koje oštećuju ozonski omotač. Okoliš kao čovjekovo prirodno okruženje kao dijela organizama i njihovih zajednica koji omogućuje postojanje i razvoj, uključuje zrak, vode, Zemljinu koru, materijalna dobra, kulturnu baštinu i energiju kao dio okruženja koja je čovjek stvorio. Zaštita okoliša skup je aktivnosti i mjera za sprječavanje opasnosti za okoliš, nastanka šteta ili onečišćavanja okoliša, smanjivanje i otklanjanje šteta nanesenih okolišu te vraćanje okoliša u stanje prije nastanka štete. U postupku usklađivanja zakonodavstva, zaštita okoliša jedno je od najopsežnijih i najzahtjevnijih područja. U području kvalitete zraka i klimatskih promjena zakonodavstvo EU-a dijeli se na tri vrste direktiva: kvaliteta zraka, proizvodi i sirovine, te praćenje i informiranje.

## **7.1. Zamjenski plinovi za gašenje**

### **7.1.1. FM-200**

U svijetu i kod nas prihvaćen, ekološki čist, plin za gašenje požara FM-200, zamijenio je po Montrealskom dogovoru zabranjeni halon 1301. Plin FM-200 bezopasan je za ljude, bezbojan je i bez mirisa te ne utječe na proširenje ozonskih rupa. Električki je neprovodljiv te je idealan za zaštitu IT prostora, server prostorija, telefonskih centrala, prostora s elektronikom, galerija, muzeja, trezora i sličnih prostora. Koncentracija plina FM-200 od samo 7% do 9% u prostoru uspješno gasi sve vrste požara unutar deset sekundi od trenutka aktiviranja, a potpuno je bezopasna za ljude koji bi se u vrijeme aktiviranja zatekli u štíćenom prostoru. Utjecaj na okoliš plina FM-200 vrlo je povoljan u odnosu na halon 1301. FM-200 ne razgrađuje ozonski



omotač za razliku od zabranjenog halona. Vrijeme raspada u atmosferi za FM-200 iznosi 31-42 godine dok je za halon 1301 vrijeme raspada iznosilo čak 77 godina. Plin FM-200 pohranjen je u tekućem stanju u spremnicima pod tlakom dušika od 25 ili 42 bara pri 21°C. Kako bi se jamčila djelotvornost kod gašenja traži se projektantski precizno riješene instalacije te je bitno napomenuti kako vrijeme istjecanja sredstva za gašenje, mora biti najdulje 10 sekundi. Iz navedenog razloga bitno je istaknuti kako sredstvo ne podnosi dugačke cjevovode, tj. spremnici sa sredstvom za gašenje trebaju biti čim bliže štíćenom prostoru.

### **7.1.2. NOVEC 1230**

Novec 1230 plin je koji spada u najnoviju generaciju nasljednika nekadašnjeg halona. Naglasak sustava Novec 1230 njegov je izrazito blagi utjecaj na okoliš i ozonski omotač. Uz veliku efikasnost i brzinu pri gašenju požara njegova je najbitnija karakteristika i vrlo kratko vrijeme raspada u atmosferi od svega 5 dana. Novec 1230 ne oštećuje ozonski omotač te ima vrlo nizak GPW koeficijent (Global Warming Potential = 1). Navedene karakteristike čine ga ekološki najprihvatljivijim plinom danas. Električki je neprovodljiv te je idealan za zaštitu IT prostora, server prostorija, telefonskih centrala, prostora s elektronikom, galerija, muzeja, trezora i sličnih prostora. Novec 1230 uspješno gasi sve vrste požara unutar deset sekundi od trenutka aktiviranja, a potpuno je bezopasan za ljude koji bi se zatekli u vrijeme aktiviranja u štíćenom prostoru. Plin Novec 1230 pohranjen je u tekućem stanju u spremnicima pod tlakom dušika od 50 bara pri 21°C. Kako bi se jamčila djelotvornost kod gašenja traži se projektantski precizno riješene instalacije te je bitno napomenuti kako vrijeme istjecanja sredstva za gašenje, mora biti najdulje 10 sekundi. Također je bitno istaknuti kako cjevovodi mogu biti udaljeni i do 80 metara što je prednost plina Novec 1230 u odnosu na plin FM 200.



Slika 11. Sistemi za gašenje plinom Novec 1230

## **8. ZAKLJUČAK**

Da bi se pravilno i uspješno ugasio požar treba znati što gori i kojim uređajem za gašenje, sredstvom ( npr. voda, pjena prah, CO<sub>2</sub>) i materijalom za gašenje ( npr. deka, poklopac, pjesak) možete uspješno i sigurno ugaziti požar. Zavisno od vrste zapaljivih materijala postoje različite klase požara , koji su označeni slovima A, B, C, D i F. Električne, odnosno elektronske uređaje možete gasiti sredstvima za gašenje požara na bazi CO<sub>2</sub> , ABC praha. Vodom nikada ne gasiti ulje koje gori, jer to može izazvati eksploziju masnoće . To može povrijediti sve koji su u blizini i izazvati širenje požara.

## 9. LITERATURA

- [1] Zdenko Šmejkal: „Uređaji, oprema i sredstva za gašenje i zaštitu od požara“, SKTH Savez kemičara i tehnologa Hrvatske / Kemija u industriji, Zagreb – 1991., ISBN 86-80907-11-1
- [2] Milan Carević: „Tehnički priručnik za zaštitu od požara“, Zagreb: Grafo-Amadeus 1997., ISBN 953-97239-0-6
- [3] Željko Popović: „Priručnik za osbosoljavanje dočasnika i časnika“, Hrvatska vatrogasna zajednica 2006., ISBN 953-6385-16-3
- [4] Igor Gulan: „Protupožarna tehnološka preventiva“, Biblioteka Nading Zagreb, 1997. godine, ISBN953-96015-4-1
- [5] Protupožarni i sigurnosni sustavi, <http://www.aling.c-a.com.hr/kat/25/sustavi-za-gasenje-pozara>
- [6] Zakon o zaštiti od požara  
[http://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_07\\_92\\_2588.html](http://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_92_2588.html)
- [7] Zabrana halona, <http://zastita.info/hr/clanak/2009/12/hrvatsko-uskladivanje-s-eu-om-od-1.-sijecnja-u-rh-zabranjeni-stetni-haloni!,108,3893.html>
- [8] Protupožarna lopta, <http://www.elidefire.hr/>
- [9] Vatrogasne tehnike, <http://www.hvz.hr/aktivnosti/vatrogasna-tehnika/>

## 10. POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Gašenje vatre vodom.....                                 | 7  |
| Slika 2. Nanošenje retardanta na vegetaciju iz zraka.....         | 12 |
| Slika 3. Gašenje vatre pjenom.....                                | 17 |
| Slika 4. Vatrogani aparat ABC-prah.....                           | 25 |
| Slika 5. Naljepnica za ABCDF-prah.....                            | 25 |
| Slika 6. Gašenje vatre prahom.....                                | 30 |
| Slika 7. Protupožarna lopta na stalku.....                        | 31 |
| Slika 8. Gašenje vatre ugljikovim dioksidom-CO <sub>2</sub> ..... | 32 |
| Slika 9. P-T dijagram CO <sub>2</sub> .....                       | 34 |
| Slika 10. Primjena halona u zrakoplovu.....                       | 36 |
| Slika 11. Sistemi za gašenje plinom Novec 1230.....               | 38 |

## 11. POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Pri mokrom postupku gašenja kao sredstvo za gašenje primjenjuju se voda, vodena para i pjena..... | 4  |
| Tablica 2. Suhi postupak gašenja prahom.....   | 5  |
| Tablica 3. Određivanje mase retardanata ovisno o vrsti zapaljive tvari.....                                  | 13 |
| Tablica 4. Omjer dobivanja pjene.....  | 24 |
| Tablica 5. Karakteristike pjenila za laku vodu.....  | 24 |
| Tablica 6. Odnos volumena CO <sub>2</sub> prema masi ovisno o temperaturi.....                               | 35 |