

UTJECAJ PRODUKATA GORENJA NA ZDRAVLJE VATROGASACA

Sršek, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:083078>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni prijediplomski studij Sigurnost i zaštita

Marko Sršek

UTJECAJ PRODUKATA GORENJA NA ZDRAVLJE VATROGASACA

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Marko Sršek

**THE IMPACT OF COMBUSTION
PRODUCTS ON THE HEALTH OF
FIREFIGHTERS**

BACHELOR THESIS

Karlovac, 2024

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni prijediplomski studij Sigurnost i zaštita

Marko Sršek

UTJECAJ PRODUKATA GORENJA NA ZDRAVLJE VATROGASACA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Jasna Halambek, v. pred.

Karlovac, 2024.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2024.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Marko Sršek**

Matični broj: 0248081694

Naslov: **Utjecaj produkata gorenja na zdravlje vatrogasaca**

Opis zadatka:

Cilj ovog rada je detaljnije prikazati opasnosti produkata oslobođenih gorenjem kojima su vatrogasci izloženi tijekom obavljanja svojih dužnosti. Istražit će se kako ti produkti, poput ugljikovog monoksida, benzena i drugih, utječu na zdravlje vatrogasaca te koje bolesti mogu prouzročiti. Rad također ističe važnost edukacije vatrogasaca o kemijskim opasnostima i pravilne upotrebe zaštitne opreme kako bi se smanjili rizici i očuvalo njihovo zdravlje.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Previđeni datum obrane:

01/2024.

07/2024

09/2024

Mentor:

Predsjednik Ispitnog Povjerenstva:

dr. sc. Jasna Halambek, v. pred.

Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

PREDGOVOR

Potaknut nedavnim velikim požarima na postrojenjima za gospodarenje otpadom u Osijeku i Zaprešiću, ali i redovnim šumskim i drugim velikim požarima koji svake godine pogađaju teritorij Republike Hrvatske, odabrao sam ovu temu kako bih detaljnije prikazao i obradio opasne produkte koji se oslobađaju tijekom izgaranja različitih materijala. Cilj rada je podići svijest vatrogasaca koji se svakodnevno izlažu djelovanju štetnih kemijskih spojeva uslijed obavljanja zadaća na intervencijama. Zahvaljujem se svojoj mentorici dr. sc. Jasni Halambek, v. pred. na pomoći i usmjeravanju tijekom pisanja završnog rada. Također, zahvaljujem se svojim bližnjima i kolegama vatrogascima na podršci i pomoći tijekom studiranja.

Marko Sršek

SAŽETAK

Tijekom procesa izgaranja gorivih tvari dolazi do oslobađanja produkata koji dokazano štetno utječu na ljudsko zdravlje. Vatrogasci su zbog vrste poslova koje obavljaju do nekoliko puta izloženiji djelovanju štetnih produkata gorenja u odnosu na opću populaciju. Kemijski spojevi koji se oslobađaju za vrijeme gorenja, kod čovjeka izazivaju niz poteškoća u zdravstvenom stanju i razvoj bolesti respiratornog, kardiovaskularnog i ostalih sustava važnih za normalan rad organizma. Osim samih produkata koji se oslobađaju tijekom i nakon procesa gorenja, dodatnu opasnost za vatrogasce predstavlja neophodna zaštitna oprema. Cilj ovog rada je osvijestiti vatrogasce kroz detaljnije opisivanje opasnosti kojima se izlažu unosom štetnih produkata u organizam. Važno je da su vatrogasci pravilno educirani i upoznati s potencijalnim opasnostima takvih produkata, kako bi se na pravilan način zaštitili i sigurno pristupili gašenju požara te tako očuvali svoje zdravlje.

Ključne riječi: produkti gorenja, opasnosti požara, izloženost, zdravlje vatrogasaca.

SUMMARY

During the combustion process of fuel materials, products are released that have been proven to adversely affect human health. Due to the nature of their work, firefighters are exposed to the harmful effects of combustion products several times more than the general population. The chemical compounds released during combustion cause a range of health issues in humans and contribute to the development of diseases in the respiratory, cardiovascular and other systems essential for normal bodily function. Besides the products released during and after the combustion process, an additional danger for firefighters is posed by the necessary protective equipment. The aim of this paper is to raise awareness among firefighters by detailing the dangers they face through the ingestion of harmful products. It is important that firefighters are properly educated and familiarized with the potential dangers of these products so that they can protect themselves properly, approach firefighting safely and thus preserve their health.

Key words: combustion products, fire hazards, exposure, firefighter health.

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK	III
SADRŽAJ	IV
1. UVOD	1
2. PROCES GORENJA	2
2.1. Produkti procesa gorenja.....	3
2.2. Čađa.....	5
3. PLINOVITI SASTAV DIMA	7
3.1. Ugljikov monoksid (CO).....	7
3.2. Dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO ₂)	9
3.3. Sumporov dioksid (SO ₂).....	11
3.4. Sumporovodik (H ₂ S).....	12
3.5. Cijanovodik (HCN).....	13
4. TEŠKI METALI U SASTAVU DIMA	14
5. DIOKSINI	17
6. BROMIDI	18
7. HLAPLJIVI ORGANSKI SPOJEVI	20
7.1. Benzen (C ₆ H ₆).....	21
7.2. Toluen (C ₇ H ₈)	21
7.3. Formaldehid (CH ₂ O).....	22
7.4. Akrolein (C ₃ H ₄ O)	23
7.5. Ksilen (C ₈ H ₁₀).....	24
7.6. Trikloretilen (C ₂ HCl ₃)	24

8. SPECIFIČNE OPASNOSTI OVISNO O VRSTI POŽARA	26
8.1. Strukturni požari	26
8.2. Šumski požari (požari otvorenog prostora).....	30
9. OPASNOST ZAŠTITNE OPREME	32
10. POJAVA KARCINOMA U VATROGASTVU	35
11. ZAKLJUČAK	38
12. LITERATURA	39
13. PRILOZI	42
13.1. Popis tablica.....	42
13.2. Popis slika.....	42

1. UVOD

Vatrogastvo je jedno od najzahtjevnijih i najopasnijih zanimanja koje čovjek može raditi. Radi se o zanimanju koje zahtijeva kombinaciju fizičke i mentalne spremnosti za obavljanje zadaća u opasnim okruženjima. Vatrogasci se prilikom obavljanja zadaća na intervencijama izlažu opasnostima koje mogu biti pogubne za život. Opasnosti profesije kojima su izloženi vatrogasci mogu se kategorizirati kao fizičke, termalne, ergonomske, kemijske i psihološke. Stupanj izloženosti vatrogasaca nekoj od navedenih kategorija opasnosti ovisi o vrsti intervencija, odnosno o vrsti požara, gorivog materijala, objekta na kojem se vrši obavljanje zadaća i načinu ispunjavanja tehničkih zadaća, prisutnosti opasnih tvari, unesrećenih i ugroženih osoba te brojnim drugim parametrima koji mogu otežati ili olakšati posao vatrogasaca na mjestu nesreće. Teško je izdvojiti neku od navedenih kategorija kao najopasniju, ali je za samo zdravlje vatrogasaca svakako najbitnija zaštita od djelovanja produkata koji se oslobađaju tijekom i nakon procesa gorenja. Vatrogasci koji odgovaraju na intervencije često su izloženi djelovanju štetnih kemijskih spojeva kao što su ugljikov monoksid, cijanovodik, dušikovi oksidi, sumporov dioksid, klorovodik, aldehidi, razni organski spojevi poput benzena i mnogih drugih. Izlaganje djelovanju produkata gorenja kod ljudi, odnosno vatrogasaca, dovodi do potencijalnog razvoja raznih bolesti organizma. Bolesti koje se najčešće javljaju kod vatrogasaca su: kardiovaskularne bolesti, bolesti dišnog sustava, karcinomi te psihološki i fiziološki poremećaji. S obzirom na širok spektar poslova i vrsta intervencija na koje odgovaraju vatrogasci, svaki je vatrogasac u drugačijoj mjeri izložen djelovanju štetnih tvari i njihovom utjecaju na zdravlje, stoga je pojam profesionalne bolesti kod vatrogasaca teško odrediti. Izuzetno je važno da su vatrogasci pravilno educirani i upoznati s opasnostima koje predstavljaju sami produkti izgaranja, kako bi na što sigurniji i što efikasniji način obavljali svoje zadaće i pravilnim korištenjem zaštitne opreme uspješno očuvali svoje zdravlje.

[1]

2. PROCES GORENJA

Gorenje ili izgaranje je kemijski proces kod kojeg dolazi do oksidacije gorivih sastojaka nekog goriva. Kod procesa gorenja, ovisno o vrsti goriva, dolazi do oslobađanja topline, svjetlosti i produkata gorenja. Postoji niz raznih produkata koji nastaju prilikom izgaranja, a njihova količina i svojstva ovise o vrsti gorive tvari i uvjetima u kojima se proces odvija. S obzirom na pojavu oslobađanja produkata gorenja razlikujemo potpuno i nepotpuno gorenje. Potpuno gorenje odvija se uz prisutnost dovoljne količine zraka, odnosno kisika te kod takvog procesa izgaranja nema pojave dima. Ostaci procesa potpunog gorenja nemaju mogućnost ponovnog zapaljenja. Najveći dio sastava produkata potpunog gorenja čine vodena para i ugljikov dioksid, a ovisno o vrsti goriva mogu se pojaviti manje količine sumporovih i dušikovih oksida, klorovodika i drugih anorganskih plinova. Nepotpuno gorenje odvija se uz nedovoljnu količinu zraka, a karakterizira ga pojava velike količine dima. Ostaci nastali nepotpunim izgaranjem imaju mogućnost ponovnog zapaljenja, a plinoviti produkti s dovoljnom količinom zraka mogu stvoriti eksplozivnu smjesu. Do procesa nepotpunog izgaranja najčešće dolazi kod požara zatvorenog prostora, odnosno kod požara s ograničenom količinom kisika. Produkti koji nastaju kod takvih požara iznimno su štetni za ljudsko zdravlje, odnosno za zdravlje vatrogasaca koji ih gase. Do najvećeg broja ozljeda u nesrećama koje uključuju požare ne dovode opekline, već udisanje dima, štetnih produkata i manjak kisika. [2]

2.1. PRODUKTI PROCESA GORENJA

Produkti koji se oslobađaju tijekom gorenja raznih vrsta materijala, najčešće se javljaju u obliku dima koji predstavlja najveću opasnost za zdravlje ugroženih i vatrogasaca. Dim definiramo kao aerosol koji se sastoji od disperzije krutih i tekućih čestica. Sastav samog dima ovisi o vrsti gorive tvari, odnosno o produktima koji se otpuštaju u okolinu prilikom izgaranja nekog materijala. [2]

U dimu se, osim čađe kao osnovnog sastojka, nalazi i niz štetnih kemijskih spojeva poput ugljikova monoksida, cijanovodika, sumporovodika i mnogih drugih opasnih organskih i anorganskih spojeva. Trenutno izlaganje dimu dovodi do iritacije dišnog sustava te vidnih i drugih osjetljivih organa što izaziva paniku, osjećaj izgubljenosti, zbunjenosti te tako smanjuje šanse za pravovremeni bijeg od opasnosti. Dim sadrži kombinaciju štetnih kemijskih spojeva u obliku čestica i plinova koji u organizmu čovjeka mogu dovesti do razvoja raznih bolesti i poteškoća u radu svih sustava i organa. Svaki od kemijskih spojeva u dimu ima svoje specifičnosti i toksična svojstva koja doprinose štetnom utjecaju samog dima pri ulasku u organizam.

Kemijski spojevi u sastavu dima često su kancerogeni, mutageni te svojim djelovanjem ostavljaju trajne posljedice na zdravlje čovjeka. Štetno djelovanje dima ovisi o karakteristikama i koncentraciji produkata gorenja, veličini njihovih čestica, topljivosti tvari koja određuje intenzitet apsorpcije u organizam i trajanju samog izlaganja. Čestice koje se oslobađaju kao produkt prilikom izgaranja raznih materijala najčešće su ugljikovodici, no gorivi materijali često su tretirani raznim kemijskim sredstvima što pospješuje štetan učinak na organizam čovjeka. Takvi produkti imaju iritirajući učinak, uzrokuju kašalj i dovode do razvoja bolesti poput akutnog bronhitisa. Također, na sebe mogu vezati, i tako u organizam unijeti mnoge druge štetne spojeve. Plinoviti sastav dima, od kojeg se veliki dio veže na navedene čestice, odgovoran je za najveći dio štetnosti prilikom udisanja dima. Udisanje dima glavni je razlog smrti žrtava koje se nađu u požaru. Naime, dim usmrćuje kombinacijom oštećenja nanesenih visokom temperaturom, trovanjem te nadraživanjem dišnih i drugih organa. [1]

U nastavku teksta prikazana je Tablica 1. iz istraživanja Guidottija i sur. u kojoj su navedeni produkti izgaranja materijala s kojima se vatrogasci najčešće susreću na mjestu intervencije.

Tablica 1. Produkti izgaranja ovisno o vrsti gorive tvari [1]

Gorivi materijal	Gorive komponente izvornog materijala	Toksični produkti raspadanja*
drvo, papir, pamuk, juta, tkanina, pokrivači, namještaj	celuloza, vuna, svila	aldehidi, akrolein, vodikov cijanid, amonijak, vodikov sulfid
automobilska guma	guma	sumporov dioksid, vodikov sulfid, metil merkaptan, spojevi srodni benzenu
materijal za presvlake, žica, obloge za cijevi, zid, pod, obloge za namještaj	polivinil klorid	klorovodik, fozgen
odjeća, tkanina	poliuretan	vodikov cijanid, izocijanati, dušikovi oksidi
materijal za presvlake, tepisi	polipropilen	akrolein
uređaji, inženjerska plastika	poliakrilonitril	vodikov cijanid, nitrili, dušikovi oksidi
tepisi, odjeća	poliamid (najlon)	vodikov cijanid, amonijak, dušikovi oksidi
potrepštine za kućanstvo i kuhinju	melaminske smole	vodikov cijanid, amonijak, formaldehid, dušikovi oksidi
zrakoplovni prozori, tekstil	akrili	akrolein
kuhinjska galanterija, električna izolacija, brtve	politetrafluoretilen (Teflon®)	oktafluoroizobutilen
fotografski film	nitroceluloza	dušikovi oksidi

*ugljičkov monoksid i ugljičkov dioksid oslobađaju se u svim slučajevima. Ostali plinovi, kao što su aldehidi, metan i niskomolekularne organske kiseline prisutni su u većini požara.

2.2. ČAĐA

Čađa je fini crni prah koji nastaje kroz proces nepotpunog izgaranja goriva koja sadrže ugljik, goriva poput drveta, ugljena, ulja, nafte i naftnih derivata. Kod idealnog, odnosno potpunog gorenja, goriva tvar se razlaže na ugljikov dioksid i vodenu paru, no kad tijekom gorenja ne postoji dovoljna količina kisika, dolazi do stvaranja produkata kao što je čađa. Čađa se najvećim djelom sastoji od čestica ne izgorenog ugljika, ali sadrži i kemijske elemente kao što su metali, kiseline i mnoge druge organske spojeve, ovisno o vrsti gorive tvari i uvjetima u kojima se proces gorenja odvija. Organske tvari od kojih je čađa sastavljena nanose najviše štete zdravlju živih organizama. [3]

Najopasniji od spojeva koji se mogu pronaći u sastavu čađe su policiklički aromatski ugljikovodici (PAU). PAU su organske tvari sastavljene od dva ili više aromatska prstena koji su načinjeni od atoma ugljika i vodika. Kao spojevi veoma su stabilni i otporni, što im omogućava dugotrajan ostanak u okolišu. U ljudsko tijelo mogu dospjeti apsorbacijom kroz kožu i unosom kontaminirane hrane kroz probavni sustav. Nisu topljivi u vodi, ali se lako vežu s uljima i mastima što im omogućava apsorbaciju kroz kožu. Unos policikličkih aromatskih ugljikovodika u organizam, akutno dovodi do oštećenja dišnog sustava, a dugotrajno izlaganje uzrokuje astmu, bronhitis i druge kronične plućne bolesti. Trajna izloženost djelovanju policikličkih aromatskih ugljikovodika može dovesti do oštećenja kardiovaskularnog sustava, zastoja srca ili srčanog udara. Uz razvoj kardiovaskularnih i respiratornih bolesti, kronično izlaganje policikličkim aromatskim ugljikovodicima, može imati kancerogene i mutagene posljedice po organizam. Koncentracija policikličkih aromatskih ugljika u rasponu od 8-340 ppm u nekom prostoru, dovoljna je da potencijalno izazove neku vrstu karcinoma u tijelu čovjeka. [4]

Zaštitna oprema koju vatrogasci koriste smanjuje rizike od apsorbacije štetnih kemijskih spojeva čađe kroz dišni sustav, no zbog veće količine izlaganja spojevima čađe u odnosu na prosječnu populaciju, vatrogasci imaju povećan rizik od razvoja navedenih bolesti. Opasnosti koje ovi spojevi predstavljaju za zdravlje vatrogasaca proizlaze iz njihove dugotrajnosti. Naime, zbog svoje stabilnosti i

otpornosti u okolišu, spojevi koji sačinjavaju čađu talože se i vežu za zaštitnu odjeću i opremu koju vatrogasci koriste tijekom rada na intervencijama gašenja požara. Ako se zaštitna oprema i odjeća redovno ne održava i čisti, nakupljeni kemijski spojevi čađe apsorpcijom kroz kožu ulaze u organizam vatrogasaca te tako narušavaju njihovo zdravlje. [3] Slika 1. u nastavku prikazuje količinu čađe koja se zadržava na odjeći vatrogasaca tijekom jedne intervencije.



Slika 1. Čađa na zaštitnoj odjeći vatrogasaca. [5]

3. PLINOVITI SASTAV DIMA

3.1. Ugljikov monoksid (CO)

Ugljikov monoksid plin je bez boje, mirisa i okusa te se kao takav teško otkriva na vrijeme. Zbog svojih karakteristika može onesposobiti vatrogasce prije nego li shvate da je prisutan u prostoru. Težina ozljeda koje ugljikov monoksid može uzrokovati svojim djelovanjem varira od vrtoglavice do smrti, ovisno o koncentraciji samog ugljikovog monoksida. [6] Puno je mogućih situacija u kojima spasioci mogu postati žrtve ugljikovog monoksida. Primjerice, u SAD-u, 1990. godine, tri su vatrogasca stradala prilikom uklanjanja ostataka uginule životinje iz bunara. Ispumpavali su vodu koristeći pumpu s pogonom na unutarnje izgaranje, koja se s vatrogascem nalazila u bunaru. Kad se prvi vatrogasac onesvijestio, ostali su mu priskočili u pomoć, uslijed čega su zbog velike količine monoksida u bunaru i oni smrtno stradali. Ustanovljeno je da su vatrogasci preminuli od trovanja ugljikovim monoksidom, čija je koncentracija iznosila 20 500 ppm (*parts per million*), što je 13 puta više od granice opasne po život. [7]

Općenito, do trovanja ugljikovim monoksidom najčešće dolazi uslijed loše izvedenih sustava grijanja, prilikom udisanja dima požara te rada motornih vozila, odnosno udisanja ispušnih plinova motora na unutarnje izgaranje. Opasnost ugljičnog monoksida koji nastaje kontroliranim gorenjem dobro je poznata. Izvori kontroliranog gorenja uključuju kamine, peći za ogrjev, grijalice, plinske plamenike, bojlere i slične uređaje koje čovjek svakodnevno koristi. Takvi uređaji zamišljeni su da rade s minimalno uloženoj truda i rada čovjeka pa se često dogodi da budu zanemareni i loše održavani. Loše održavanje uređaja koji rade na principu kontroliranog gorenja može dovesti do stvaranja naslaga u dovodu zraka ili odvodu ispušnih plinova što može rezultirati nepotpunim izgaranjem goriva i stvaranjem ugljičnog monoksida koji se oslobađa u prostor gdje borave ljudi. Nadalje, nekontrolirano gorenje, kao što su požari kuća, poslovnih prostora, skladišta, vozila, polja, šuma i slično, značajan su izvor ugljičnog monoksida i ujedno su najopasniji za djelatnike žurnih službi.

Za razliku od kontroliranog gorenja, nekontrolirano gorenje nije namjerno uzrokovano i nema savršenu učinkovitost potpunog izgaranja. Tijekom procesa

nekontroliranog gorenja nisu uređeni uvjeti koji utječu na samo izgaranje, odnosno nije određena goriva tvar ni način ventiliranja prostora pa često dolazi do nepotpunog gorenja raznih kombinacija materijala koji kao posljedicu otpuštaju štetne produkte. [6]

Ugljikov monoksid (CO) u tijelo čovjeka primarno ulazi respiratornim putem. Apsorpcijom kroz pluća ulazi u krv i veže se na hemoglobin umjesto kisika, što uzrokuje smanjeni dotok kisika do mozga te tako, ovisno o koncentraciji, kod ljudi izaziva brojne simptome ili dovodi do smrti. Kemijski spoj koji nastaje kod vezanja ugljikovog monoksida na hemoglobin je karboksihemoglobin (u daljnjem tekstu COHb). Ovisno o udjelu COHb u krvi čovjeka, javljaju se razni simptomi. COHb na razini od 10% kod čovjeka izaziva neurološke smetnje, odnosno glavobolje, dezorijentiranost i pad koncentracije. Razine COHb u krvi iznad 10% uzrokuju vrtoglavicu, slabost i povraćanje. Razine od oko 40% COHb u krvi, čovjeka dovode u stanje bez svijesti, a razine COHb od 50-60% smatraju se smrtonosnima.

Ugljikov monoksid može izazvati trajno oštećenje kardiovaskularnog sustava i dovesti do razvoja srčanih mana i bolesti. Do štetnog utjecaja na srce dolazi uslijed vezanja ugljikovog monoksida na hemoglobin što ograničava dotok kisika u mozak i vitalne organe tijela, što nadalje dovodi do stanja hipoksije. Hipoksija je stanje smanjene razine kisika u stanicama i tkivu, koje uzrokuje nepravilan rad vitalnih organa. Kako bi organizam nadomjestio manjak kisika u tijelu, srce podiže intenzitet rada što stvara dodatni stres na cijeli kardiovaskularni sustav te dovodi do oštećenja samog srčanog tkiva. [8]

Tablicom 2. u nastavku prikazana je povezanost koncentracije ugljikovog monoksida i posljedica po čovjeka.

Tablica 2. Posljedice određenih koncentracija CO i COHb u krvi [8]

Koncentracija CO u zraku *	Simptomi, potencijalni izvor izlaganja i % COHb u krvi
1-2 ppm (0.0001%)	Normalna funkcija, štednjak, promet
2 ppm (0.0002%)	Preporučena maksimalna granica dugoročnog izlaganja, obavljanje specifičnih zanimanja
Iznad 2 ppm	Postoji neki razlog prisutnosti povišene koncentracije CO
9 ppm	Maksimalna dozvoljena granica kratkoročnog izlaganja u prostoru gdje osoba živi
15-20 ppm	Pojava poremećaja u radu ljudskog tijela (COHb 2%)
27 ppm (0.0027%)	21% porast u pritužbama na otežano disanje
35 ppm (0.0035%)	Maksimalna dozvoljena koncentracija izlaganja tijekom osmosatnog radnog dana
75 ppm (0.0075%)	Značajno smanjena razina kisika dostupna stanicama u tijelu (COHb 10%)
200 ppm (0.02%)	Pojava glavobolja, umora, vrtoglavice, osjećaja slabosti te nakon 2 do 3 sata izlaganja dolazi do potencijalne opasnosti po život
800 ppm (0.08%)	Vrtoglavica, slabost i povraćanje unutar 45 min; stanje bez svijesti; smrt unutar 2 sata
1600 ppm (0.16%)	Glavobolja, vrtoglavica i osjećaj slabosti unutar 20 min; smrt unutar 30 minuta
3200 ppm (0.32%)	Glavobolja, vrtoglavica i osjećaj slabosti unutar 5-20 min, pad koncentracije i smrt unutar 30 minuta
6400 ppm (0.64%)	Glavobolja, vrtoglavica i osjećaj slabosti unutar 1-2 min, nemogućnost svjesnog donošenja odluka, smrt unutar 10-15 min
12800 ppm (1.28%)	Smrt unutar 1-3 min

*Ugljikov monoksid (CO) 10,000 parts per million (ppm) = 1% volumena

3.2. Dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO₂)

U zraku možemo pronaći sedam dušikovih oksida, a s izvorima gorenja povezani su dušikov dioksid (NO₂) i dušikov monoksid (NO). Navedeni dušikovi oksidi stvaraju se na visokim temperaturama tijekom procesa gorenja kroz različite kombinacije kisika i dušika. Količina dušikovih oksida koji nastaju u procesu

gorenja proporcionalna je povećanju temperature samog gorenja. Dušikov monoksid i dušikov dioksid s ostalim dušikovim oksidima reagiraju s kemijskim spojevima u smjesi zraka.

Udisanje zraka s visokom koncentracijom dušikovog monoksida izaziva iritaciju respiratornog sustava. Akutno djelovanje dušikovog monoksida dovodi do pogoršanja stanja ljudi s postojećim plućnim bolestima kod kojih izaziva pojačane simptome bolesti, kašalj i otežano disanje. Dušikov monoksid i dioksid najopasniji su u prostorima s ograničenom ventilacijom. Najveći izvori navedenih dušikovih oksida u takvim prostorima su radnje koje uključuju izgaranje plina, drva, ulja, ugljena i drugih materijala koji se koriste kao gorivo u uređajima za grijanje prostora.

Dušikov dioksid (NO_2) poznat je po svom utjecaju na respiratorni sustav. Kontinuirano izlaganje dušikovom dioksidu dovodi do razvoja infekcija respiratornog sustava, oštećenja i smanjenja funkcije samih pluća te razvoja respiratornih bolesti kao što su astma i bronhitis. Kao posljedica djelovanja NO_2 mogu se javiti i poremećaji u radu kardiovaskularnog sustava, naime NO_2 izaziva upalu krvnih žila i oksidativni stres što može dovesti do razvoja srčanih bolesti i srčanog udara. Kod vatrogasaca, udisanje velike količine NO_2 dovodi do ubrzanog rada srca i povišenja krvnog tlaka, što stavlja dodatni pritisak na sam kardiovaskularni sustav tijekom fizički zahtjevnih aktivnosti. Iz tog razloga, ljudi, odnosno vatrogasci koji su češće izloženi povišenim koncentracijama NO_2 imaju veću vjerojatnost za razvijanje hipertenzije, aritmije i drugih srčanih poremećaja. Koncentracija dušikova dioksida u dimu koji nastaje prilikom gorenja ovisi o karakteristikama mnogo različitih faktora, kao što su goriva tvar, efikasnost izgaranja i ventilacija prostora.

Požari koji uključuju izgaranje organskih tvari kao što su papir i drvo, stvaraju manje koncentracije NO_2 u odnosu na požare u kojima izgaraju fosilna goriva i sintetički materijali. U požarima zatvorenog prostora, zbog zadržavanja dima u prostoru, nerijetko se događa da su koncentracije NO_2 u dimu koji se oslobađa tijekom gorenja, iznad maksimalne dozvoljene granice za zdravlje ljudi. „Environmental Protection Agency“ (EPA) definirala je dozvoljenu koncentraciju

za izlaganje u trajanju od 60 minuta na 0.053 ppm za koju se savjetuje da se ne prelazi više od jednom godišnje. „World Health Organization“ (WHO) za isto izlaganje preporučuje granicu od 0.040 ppm kako bi se rizici za zdravlje sveli na minimum. Osim na kardiovaskularni i respiratorni sustav, navedeni dušikovi oksidi pri povećanim koncentracijama utječu i na rad imunološkog sustava što kod vatrogasaca može izazvati probleme pri oporavku od utjecaja drugih štetnih produkata koji se oslobađaju gorenjem i dovesti do dugotrajnih zdravstvenih problema. [9]

3.3. Sumporov dioksid (SO₂)

Sumporov dioksid (SO₂) bezbojan je, otrovan plin izrazito iritirajućeg i opojnog mirisa, poznat po svom utjecaju na ljudsko zdravlje i okoliš. Može ga se prepoznati po specifičnom mirisu koji se često uspoređuje s mirisom izgorjene šibice. U okoliš se otpušta iz antropogenih i prirodnih izvora. Primarni izvor sumporovog dioksida (SO₂) su emisije koje nastaju spaljivanjem fosilnih goriva i razni industrijski procesi u kojima se koristi sumpor.

Sumporov dioksid u dodiru s vodenom parom oksidira i prelazi u sumpornu kiselinu (H₂SO₄). Također, u kemijskoj reakciji s amonijakom (NH₃) daje opasni kemijski spoj amonijev sulfat ((NH₄)₂SO₄) koji se koristi kao gnojivo. Prirodni izvori sumporova dioksida su vulkanske i geotermalne aktivnosti. Sumporov dioksid jedan je od glavnih zagađivača okoliša, odnosno zraka koji dišemo. Na ljudski organizam štetno djeluje već pri koncentracijama od 0.1 – 0.5 ppm. U organizam, zbog svoje topljivosti u vodi, ulazi kroz respiratorni i probavni sustav. Naime, sumporov dioksid u kombinaciji s vlagom u ljudskom tijelu stvara sumpornu kiselinu koja se apsorbira u organizam. Akutno djelovanje sumporovog dioksida uključuje iritaciju respiratornog sustava, očiju i kože, a kod ljudi s postojećim respiratornim bolestima dovodi do napadaja i općeg pogoršanja stanja. Kroničnim djelovanjem na organizam SO₂ dovodi do razvoja respiratornih bolesti poput bronhitisa i oštećenja pluća koje uzrokuju oslabljen rad respiratornog sustava. Uz plućne bolesti, svojim djelovanjem dovodi i do potencijalnog razvoja bolesti i oštećenja kardiovaskularnog sustava.

OSHA definira dozvoljenu granicu izlaganja u osmosatnom radnom danu od 5 ppm, a koncentracije veće od 100 ppm predstavljaju opasnost po život. Vatrogasci se sa sumporovim dioksidom u dimu vatre susreću na požarima u kojima gore materijali koji sadrže sumpor, odnosno razna spaljivanja otpada, biomasa i goriva poput ugljena i nafte. [10]

3.4. Sumporovodik (H₂S)

Sumporovodik (H₂S) je zapaljivi, bezbojni plin, karakterističnog mirisa pokvarenih jaja. U prirodi se pojavljuje kao produkt vulkanskih aktivnosti, sumpornih vrela, močvara, podvodnih izvora, voda stajačica, prirodnog plina i nafte. Osim u prirodi, H₂S se često može naći u raznim industrijskim procesima poput proizvodnje prirodnog plina, postrojenja za obradu onečišćenih voda, djelatnosti uzgoja životinja i proizvodnje hrane, petrokemijske industrije, proizvodnje sumpora, metalurškijske industrije i mnogih drugih aktivnosti.

H₂S je izrazito otrovan plin i predstavlja veliku opasnost za ljudsko zdravlje. Izlaganje sumporovodiku već pri niskim koncentracijama od 0.01-10 ppm ima trenutno djelovanje na ljudska osjetila, izaziva iritaciju očiju, iritaciju sluznica i dišnog sustava, glavobolje, kašalj, umor, dezorijentiranost i vrtoglavicu. Izlaganje povišenim koncentracijama od 50-100 ppm dovodi do poteškoća s disanjem i može izazvati gubitak osjeta mirisa što čovjeka može dodatno ugroziti zbog onemogućavanja otkrivanja daljnjih opasnosti putem mirisa. Djelovanje visoke koncentracije sumporovodika dovodi do gubitka svijesti te respiratorne paralize koja kod čovjeka izaziva smrt. Na naveden način do smrti može doći uslijed samo dva udisaja sumporovodika pri koncentracijama iznad 1000 ppm.

Kronično izlaganje sumporovodiku može dovesti do razvoja raznih kroničnih bolesti dišnog, neurološkog i kardiovaskularnog sustava. Udisanje sumporovodika izaziva staničnu hipoksiju, odnosno gušenje i odumiranje samih stanica i izaziva iritaciju i nanosi štetu dišnom sustavu što može dovesti do njegova otkazivanja. OSHA dozvoljenu granicu izlaganja za sumporovodik definira do 10 ppm u osmosatnom radnom danu, a pri koncentracijama višim od 100 ppm javlja se potencijalna opasnost za život. Sumporovodik kao produkt procesa nepotpunog gorenja nastaje kod izgaranja tvari koje sadrže sumpor,

odnosno kod izgaranja fosilnih goriva, prirodnog plina, organskih materijala, raznog industrijskog otpada, građevinskog materijala, određenih vrsta plastika i guma te se zbog toga gotovo uvijek može naći u sastavu dima pri gašenju požara. [11]

3.5. Cijanovodik (HCN)

Cijanovodik (HCN) je plin, koji otapanjem u vodi daje cijanovodičnu kiselinu iste kemijske formule. HCN je plin bez boje, snažnog specifičnog mirisa gorkih badema. HCN nastaje iz raznih izvora, prirodnim procesima i antropogenim djelovanjem. U prirodi HCN je sastavni dio biljnih materijala, a može nastati i kroz vulkanske erupcije te kroz aktivnost raznih gljiva i bakterija. Antropogeni izvori iz kojih dolazi cijanovodik su razni industrijski procesi, rudarenje, proizvodnja plastike, spaljivanje otpada, proizvodnja i uporaba pesticida i slično. Nepotpuno gorenje materijala koji sadrže dušik stvara veliku količinu HCN, a radi se o materijalima kao što su plastika, vuna i razna sintetička vlakna.

HCN je izrazito otrovan kemijski spoj i štetno djeluje na zdravlje čovjeka. U organizam može ući kroz respiratorni sustav, probavni sustav i apsorpcijom kroz kožu. HCN u organizmu izaziva staničnu hipoksiju, odnosno sprječava oksidaciju stanica i tako, gušenjem, izaziva njihovo odumiranje. Simptomi trovanja HCN uključuju poteškoće s disanjem, vrtoglavice, glavobolje, nepravilan rad srca, gubitak svijesti, napadaje i komu, a u slučajevima velike izloženosti, sigurnu smrt. Dugoročno izlaganje HCN može dovesti do razvoja raznih kroničnih neuroloških i respiratornih bolesti. Manje koncentracije od 1-20 ppm uzrokuju iritaciju očiju i dišnog sustava. Koncentracije od 20-50 ppm uzrokuju nepravilan rad srca i poteškoće s disanjem, dok visoke koncentracije iznad 50 ppm dovode do gubitka svijesti i prestanka rada srca što znači sigurnu smrt unutar nekoliko minuta od izlaganja. HCN kao produkt gorenja nastaje tijekom nepotpunog izgaranja sintetičkih materijala koji se koriste u izgradnji kuća, namještaja, raznih komponenti električnih uređaja i slično pa je tako zagwarantirani sastavni dio dima požara koje gase vatrogasci. [12]

4. TEŠKI METALI U SASTAVU DIMA

Teški metali su kemijski elementi koji se prirodno nalaze u zemljinoj kori, ali se zbog svoje prisutnosti u ljudskim aktivnostima kao što su rudarenje, poljoprivreda i razni industrijski procesi, sve više nalaze u okolini kojoj se izlaže čovjek.

Teški metali dokazano predstavljaju prijetnju zdravlju i normalnoj funkciji ljudskog tijela i okoliša u kojem ljudi žive. Ulaskom u organizam čovjeka, predstavljaju se kao pseudo elementi te na sebe preuzimaju razne stanične funkcije i tako sprječavaju normalno odvijanje važnih metaboličkih procesa u samom organizmu. Za neke od teških metala, kao što je aluminij, postoje načini kojima ih se može eliminirati iz organizma, ali se većina teških metala trajno zadržava i nakuplja u ljudskom tijelu gdje izazivaju akutne i kronične posljedice. Otrovnost teških metala ovisi o načinu unosa u organizam te količini i trajanju samog izlaganja. Teški metali oslobađaju se u kao produkti gorenja kroz izgaranje raznih vrsta materijala u čijem se sastavu nalaze. Teški metali koji su najopasniji za zdravlje čovjeka i najčešće ih se može pronaći u sastavu dima nekog požara su krom, živa, olovo, kadmij i arsen. [13]

4.1. Krom

Krom nalazi svoju primjenu u proizvodnji nehrđajućeg čelika, koristi se za dobivanje zelenih pigmenata kod boja i lakova te u zaštitnim tretmanima „kromiranja“ materijala i izrade materijala visoke temperaturne otpornosti. Krom u okolišu možemo pronaći u dva oblika; trovalentan krom (Cr(III)) i heksavalentan krom (Cr(VI)). Za ljudsko zdravlje opasnost predstavlja Cr(VI). Heksavalentan krom već pri koncentracijama od 0.1 ppm u zraku izaziva nepravilan rad respiratornog sustava i iritaciju kože. Zbog njegova utjecaja na organizam, definira ga se kao sistemski otrov, odnosno heksavalentan krom svojim djelovanjem može izazvati otkazivanje organa kao što su bubrezi i jetra. Cr(VI) ima kancerogeni utjecaj na ljude, a najčešće dovodi do tumora respiratornih i drugih vitalnih organa. LD50 za Cr(VI) iznosi 80 mg/kg.[14]

4.2. Živa

Živa, zbog svojeg svojstva da na sobnoj temperaturi bude u tekućem agregatnom stanju, imala je široku primjenu u ljudskoj svakodnevici. Koristila se u raznim mjernim instrumentima, dentalnoj medicini, izradi baterija, izradi rasvjete i mnogim industrijskim procesima. Izlaganje živi ima izuzetno štetan učinak na ljudsko zdravlje. Živa u tekućem agregatnom stanju otpušta otrovne pare, a udisanje para žive ili oralni unos u organizam, može dovesti do raznih neuroloških promjena i poremećaja, može izazvati probleme u razvoju, a pri ulasku u organizam, uz oštećenja probavnog sustava, dovodi i do otkazivanja vitalnih organa kao što su bubrezi. Smrtonosna doza 50% ispitanih subjekata (LD_{50}) za oralni unos žive iznosi 15 mg/kg, a kod udisanja živinih para količina iznosi 10 mg/m³, odnosno smrtna koncentracija živinih para u zraku iznosi 10 ppm. [15]

4.3. Olovo

Olovo je najrasprostranjeniji teški metal u okolišu što je posljedica upotrebe olovnog goriva. Olovo je teški metal sa širokom primjenom u industriji. Koristi ga se u proizvodnji boja, vodovodnih instalacija, kao zaštite od zračenja u medicini, proizvodnja elektroničkih komponenata, kod građevinskih procesa i materijala, prilikom proizvodnje baterija i sl. Ima izrazito štetan utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš. U dimu požara najčešće dospijeva kroz izgaranje materijala premazanih bojama koje sadrže olovo, izgaranjem raznih vrsta plastike, elektroničkih uređaja, baterija, namještaja, industrijskog otpada i sl.

Olovo u organizam čovjeka najčešće dospijeva respiratornim ili probavnim putem. Izlaganje olovu izaziva ozbiljna, trajna oštećenja mozga i središnjeg živčanog sustava, posebno kod osoba u razvoju. Kronična izloženost olovu nanosi štetu i izaziva poremećaje u radu srca, bubrega i drugih vitalnih organa te može dovesti do razvoja kroničnih bolesti organa i odumiranja istih. Minimalna razina unosa olova u organizam čovjeka koja se smatra opasnom iznosi od 0.5 do 1 gram.[16]

4.4. Kadmij

Kadmij je teški metal s izrazito negativnim utjecajem na zdravlje ljudi i okoliš. U zraku, odnosno dimu, veže se na ostale čestice i tako respiratornim putem lako ulazi u organizam. Kadmij ima široku primjenu u industriji, primarno se koristi u proizvodnji baterija, proizvodnji boja i kao zaštitni premaz za razne metale. Izlaganje kadmiju štetno djeluje na sve sustave u ljudskom tijelu, nanosi štetu bubrezima i drugim vitalnim organima, respiratornom sustavu, dovodi do razvoja kardiovaskularnih bolesti i kancerogen je. Kadmij je, uz ostale štetne utjecaje na organizam, poznat po svom štetnom djelovanju na zdravlje kostiju. Naime, kadmij zaustavlja metabolizam kalcija što oslabljuje kosti, odnosno dovodi demineralizacije kostiju, osteoporoze i ukupno povećanog rizika od pucanja i prijeloma. Do trovanja kadmijem može doći već pri koncentracijama od 1 mg/m³. [17]

4.5. Arsen

Arsen, poput ostalih navedenih teških metala, ima izrazito štetno djelovanje na ljudsko zdravlje. Ima široku primjenu u raznim industrijama, najčešće ga se koristi u metalurgiji, proizvodnji elektroničkih komponenata, njegove sole koriste se kao pesticidi u poljoprivredi, koristi se kao zaštita za drvene materijale, u farmaceutskoj industriji, uzgoju stoke i sl. Arsen u organizam može dospjeti respiratornim putem, kroz kožu i kroz probavni sustav. Izlaganje arsenu utječe na zdravlje kože, potiče razvoj kardiovaskularnih bolesti te dovodi do neuroloških i respiratornih poteškoća i razvoja bolesti. Arsen je kancerogen, može izazvati razvoj tumora kože, mjehura, pluća, bubrega, jetre i drugih vitalnih organa. LD₅₀ za arsen iznosi od 10 do 300 mg/kg kod ljudi. [18]

Teški metali predstavljaju veliku opasnost za zdravlje ljudi zbog svoje sposobnosti taloženja u stanicama vitalnih organa. Za neke od teških metala, poput kadmija taloženog u bubrezima, potrebno je od 6 do 38 godina da bi ih se uspješno izbacilo iz organizma, ovisno o stanju samog organizma. Teški metali često su kancerogeni za čovjeka te imaju izraženo akutno i kronično djelovanje na gotovo sve sustave i organe u ljudskom tijelu. [13]

5. DIOKSINI

Dioksini su grupa kemijskih spojeva koja se zbog svoje otpornosti ubraja u skupinu trajnih zagađivača okoliša. Dioksini u prirodi nemaju namjenu, jedini prirodni izvor dioksina su vulkanske aktivnosti i šumski požari. Većina dioksina nastaje kroz ljudsko djelovanje, odnosno industrijske procese, spaljivanje otpada, upotrebe i proizvodnje herbicida i pesticida. Ostatak dioksina nastaje kroz procese koji se odvijaju u energetskim postrojenjima i spaljivanjem kloriranih spojeva kao što je poliklorirani bifenili (PBC).

U svom čistom, primarnom obliku, dioksini su bezbojne krutine ili kristali, ali se u okoliš otpuštaju u kombinaciji s raznim dodatnim spojevima i onečišćenjima. Dioksini koji nastaju izgaranjem vežu se na čestice kao što je pepeo. Vežanje na čestice poput pepela omogućuje dioksinima da prođu velike udaljenosti i tako šire štetno djelovanje van mjesta izvora. Dioksini su izuzetno hidrofobni, ali odlično topljivi u uljima i mastima te se njihova topljivost u organskim spojevima povećava proporcionalno količini klora u tvari na koju se vežu.

Zbog svog svojstva topljivosti u masti i uljima, dioksini se u tijelu čovjeka zadržavaju i talože u masnom tkivu. Kad se spominju dioksini, obično se misli na poliklorirane dibenzo-dioksine (PCDD) i poliklorirane dibenzofurane (PCDF). Dioksin 2,3,7,8-tetraklorinbenzo-p-dioksin (TCDD) jedan je od najtoksičnijih spojeva dostupnih čovjeku pa se toksičnost ostalih dioksina mjeri u usporedbi s njim. Akutno izlaganje ljudi dioksinima dovodi do raznih zdravstvenih problema, kao što su oštećenja jetre, pojava klorakni i kronične upale kože koju karakterizira pojava cista i akni po cijelom tijelu. Dugotrajno izlaganje dioksinima kod ljudi izaziva poremećaje i oštećenja živčanog, imunološkog, reproduktivnog i endokrinog sustava. Dodatno, dioksini imaju i ozbiljan kancerogeni utjecaj na žive organizme, a posebno ljude. Iz tog razloga, dioksini su proglašeni jednom od najotrovnijih skupina kemijskih spojeva znanih čovjeku. [19]

6. BROMIDI

Brom je nemetal, element iz skupine halogena koja se sastoji od flora, klora, joda, broma i iznimno rijetkog radioaktivnog elementa astata. Tamnocrvene je boje, otpušta otrovne pare i intenzivnog je mirisa. Jedini je element uz živu koji je na sobnoj temperaturi u tekućem agregatnom stanju. U prirodi ga se ne može pronaći u elementarnom stanju, već u spojevima s ostalim elementima koji su nazvani „Bromidi“. Bromidi imaju važnu ulogu u raznim područjima ljudskog života poput medicine, poljoprivrede, prehrambene industrije, energetske proizvodnje i sl. Neki od najopasnijih bromovih spojeva koji mogu utjecati na zdravlje čovjeka su: metil bromid (CH_3Br), etilen dibromid ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$), bromovodik (HBr) te same pare elementarnog broma (Br_2).

Metil bromid (CH_3Br) plin je bez boje i mirisa, koji se zbog svoje toksičnosti koristi kao pesticid. Metil bromid u ljudski organizam ulazi primarno dišnim putem, a na zdravlje čovjeka ima snažan štetni utjecaj. Izlaganje metil bromidu dovodi do iritacije i oštećenja respiratornog i neurološkog sustava, simptomi koji se javljaju obično su kašalj, poteškoće s disanjem, nakupljanje tekućine u plućima, dezorijentiranost, glavobolje, vrtoglavice, povraćanje i oštećenja sluznica. Kronično izlaganje metil bromidu negativno utječe na reproduktivnost i uzrokuje probleme u razvoju te može dovesti i do gubitka sjećanja, gubitka kognitivnih funkcija i stanja neuropatije.

Etilen dibromid ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$) je prozirna, bezbojna tekućina, slatkog mirisa. Također, kao i metil bromid, etilen dibromid se zbog svoje toksičnosti koristi kao pesticid i fungicid. Zbog štetnosti za ljude i okoliš, njegova upotreba zakonom je zabranjena u mnogim zemljama. Izlaganje etilen dibromidu ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$) izrazito je štetno za ljudsko zdravlje. U organizam čovjeka može dospjeti apsorpcijom kroz kožu i respiratorni sustav. Etilen dibromid u dodiru s kožom izaziva opekline, a ulaskom u organizam kroz respiratorni sustav dovodi do poteškoća s disanjem i može izazvati prestanak rada samih pluća. Toksično djeluje na organe, može dovesti do otkazivanja bubrega i jetre te oštećenja centralnog živčanog sustava. Kancerogen je za ljude, izaziva razvoj tumora respiratornog i probavnog sustava.

Uz kancerogeno djelovanje, etilen dibromid na ljude djeluje i mutageno, može nanijeti štetu DNA.

Bromovodik (HBr) je plin bez boje, oštrog, prepoznatljivog mirisa. Često je sastavni dio kiselih kiša, a koristi se i u raznim industrijskim i kemijskim procesima, najčešće u proizvodnji poluvodiča i obradi metala. HBr u ljudski organizam ulazi respiratornim putem, a na zdravlje čovjeka ima štetno djelovanje izazvano bromovodičnom kiselinom, koju bromovodik tvori u dodiru s vlagom, odnosno vodom. Unos HBr u probavni sustav izaziva opekline i oštećenja usta, grla, jednjaka i želuca, dovodi do sistemskog trovanja i oštećenja organa što potencijalno dovodi do smrti.

Brom (Br) je izrazito otrovan element, u spoju dva atoma broma (Br_2) javlja se kao smeđe-crvenkasta tekućina koja otpušta otrovne pare. Pare koja otpušta brom imaju štetan utjecaj na zdravlje ljudi, a često ih se može pronaći u blizini vatrogasaca jer se spojevi broma koriste kao retardanti za gašenje požara. Udisanje para broma dovodi do iritacije dišnog sustava i poremećaja u radu pluća. U dodiru tekućine ili para s kožom dolazi do pojave crvenila, iritacije i kemijskih opekline, a ulaskom u oči moguć je nastanak trajnih oštećenja vida. Kronično izlaganje parama broma može dovesti do dugoročnih posljedica i razvoja respiratornih i neuroloških bolesti. Bromidi se najčešće javljaju u dimu požara u kojima gore materijali koji svoja svojstva otpornosti na vatru dobivaju iz navedenih bromovih spojeva. [20]

7. HLAPLJIVI ORGANSKI SPOJEVI

Hlapljivi organski spojevi (VOC – Volatile Organic Compounds) su kemijski spojevi na bazi ugljika koji lako isparavaju na sobnoj temperaturi. Uobičajeni izvori hlapljivih organskih spojeva uključuju postrojenja za preradu nafte, izgaranje goriva, kemijska industrija, tekstilna industrija, automobilska industrija, itd. Jedni su od značajnijih zagađivača okoliša koji izazivaju poteškoće kod zdravlja ljudi. U kontekstu izlaganja vatrogasaca prilikom gašenja požara, može ih se pronaći u raznim građevinskim materijalima, izolacijskim materijalima, proizvodima za čišćenje, raznim kućanskim potrepštinama i kod izgaranja bio mase. Najčešće se radi o halogeniranim spojevima, aldehidima, alkoholu, ketonima, aromatskim spojevima i eterima. Hlapljivi organski spojevi imaju štetan učinak na ljudsko zdravlje. Izlaganje hlapljivim organskim spojevima dovodi do raznih poteškoća u normalnoj funkciji organizma. Problemi koji mogu nastati kod izlaganja hlapljivim organskim spojevima variraju od manjih iritacija pa sve do razvoja ozbiljnih bolesti svih sustava u tijelu čovjeka. Također, dugoročno izlaganje utjecaju hlapljivih organskih spojeva ima kancerogen učinak na ljude.[21]

Slika 2. u nastavku prikazuje ilustraciju izvora hlapljivih organskih spojeva u blizini čovjeka.



Slika 2 Hlapljivi organski spojevi u blizini čovjeka. [22]

Neki od najopasnijih hlapljivih organskih spojeva poznatih čovjeku su benzen, toluen, formaldehid, akrolein, ksilen i trikloretilen.

7.1. Benzen (C₆H₆)

Benzen je najjednostavniji aromatski ugljikovodik. Radi se o bezbojnoj, zapaljivoj tekućini slatkog mirisa. Benzen je važan u proizvodnji drugih kemikalija, a u prirodi ga se može pronaći uslijed vulkanskih aktivnosti, šumskih požara i u sastavu prirodnog plina. Ljudska primjena benzena obuhvaća razne industrijske procese poput proizvodnje svih vrsta plastike, sintetičkih vlakna, gume, lubrikanata, boja, pesticida i mnogih drugih proizvoda. Benzen je sastavni dio goriva za motorna vozila pa se nalazi u sastavu ispušnih plinova. Udisanje benzenovih para dovodi do iritacije dišnog sustava, vrtoglavice, glavobolje, iritacije kože i očiju, malaksalosti i gubitka svijesti. Dugoročno izlaganje ili izlaganje visokim koncentracijama benzena dovodi do raznih hematoloških poteškoća, odnosno razvitka bolesti krvi. Benzen primarno utječe na koštanu srž, dovodi do poremećaja kao što je anemija, manjak bijelih krvnih stanica i trombocita. Uz navedene poremećaje, benzen ima kancerogen učinak na ljudski organizam, najčešće izaziva stanja poput leukemije te može i štetno djelovati na opće stanje imunološkog i reproduktivnog sustava. OSHA definira sigurnu granicu za izlaganje benzenu, unutar osmosatnog radnog dana, do 1 ppm. [23]

7.2. Toluen (C₇H₈)

Toluen je aromatski ugljikovodik koji je po svojim svojstvima sličan benzenu. Radi se o bezbojnoj, hidrofobnoj tekućini, slatkog, prodornog mirisa. Prirodni izvori toluena su sirova nafta, ugljen, vulkanske erupcije i šumski požari. Ljudska djelovanja koja uključuju toluen su razni industrijski i proizvodni procesi koji obuhvaćaju proizvodnju boja, razrjeđivača, lijepila i sintetičkih materijala. Toluen se također nalazi u sastavu motornih goriva pa se, kao i benzen, u okoliš otpušta u sastavu ispušnih plinova. Akutno izlaganje toluenu dovodi do sličnih simptoma kao i kod benzena. Toluen može izazvati vrtoglavice, glavobolje, malaksalost, gubitak svijesti, umor, povraćanje i iritaciju očiju, kože i dišnog sustava. Dugoročno izlaganje toluenu dovodi do razvoja poteškoća centralnog živčanog sustava i može nanijeti trajna oštećenja mozga koja karakteriziraju gubitak pamćenja, promjene osobnosti i stanje kome. Također, toluen može izazvati bolesti respiratornog sustava, može štetno utjecati na reproduktivni sustav i

nanijeti štetu vitalnim organima poput jetre i bubrega. OSHA definira dozvoljenu granicu izlaganja toluenu, u osmosatnom radnom danu, na 200 ppm. [24]

7.3. Formaldehid (CH₂O)

Formaldehid je bezbojan, zapaljiv i veoma nestabilan plin. U prirodi nastaje kroz razne procese, najčešće su to procesi izgaranja biomase, odnosno šumski požari ili vulkanske aktivnosti. Veliki dio formaldehida nastaje antropogenim djelovanjem koje uključuje aktivnosti kao što je rad industrijskih i energetske postrojenja te izgaranje nafte i naftnih derivata. Formaldehid ima široku primjenu i sastavni je dio mnogih proizvodnih procesa. Koristi se u proizvodnji građevinskih materijala, proizvodnji namještaja, energetske izolaciji, tekstilnoj industriji, kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji, prehrambenoj industriji, proizvodnji boja i lakova, automobilskoj industriji, proizvodnji cjepiva i mnogim drugim procesima koji su sastavni dio života ljudi.

Iz svih navedenih podataka, može se zaključiti da je formaldehid dio gotovo svih ljudskih proizvoda i procesa te ga se, kao produkt, može pronaći u svim procesima gorenja, odnosno u svim požarima na koje odgovaraju vatrogasci. Formaldehid ima izrazito štetan utjecaj na ljudsko zdravlje. Unos kroz respiratorni sustav primarni je način izlaganja ljudi formaldehidu. Također, u organizam može dospjeti i apsorpcijom kroz kožu. Ozbiljnost posljedica trovanja formaldehidom ovisi o količini i načinu apsorpcije. Izloženost formaldehidu izaziva iritaciju očiju i dišnog sustava, opekline usta i grla, oštećenja jednjaka, bol u prsima, slabost, povraćanje, oštećenja probavnog sustava, metaboličku acidozu, otkazivanje bubrega te može dovesti i do gubitka pamćenja. Dugoročno izlaganje formaldehidu povezuje se s razvojem raznih zdravstvenih problema kao što su srčane bolesti, kronične bolesti dišnog sustava, bolesti mokraćnog sustava, bolesti probavnog sustava i mnoge druge.

Formaldehid djeluje i na RNA čovjeka što potencijalno dovodi do genetskih promjena i početka razvoja težih stanja organizma. Djelovanje formaldehida na ljudsko tijelo može se okarakterizirati kao djelovanje neurotoksina s posljedicama sistemskog otrova. Određena istraživanja pokazuju da formaldehid ima i

kancerogen utjecaj na ljude već pri koncentracijama manjima od 1 ppm, ali postoji nedovoljno podataka kako bi se to potvrdilo. Prema OSHA-i dozvoljena koncentracija formaldehida kojoj se čovjek može izlagati bez trajnih posljedica je 0.75 ppm kroz 8 sati rada ili do 2.0 ppm u periodu od 15 minuta. [25]

Ljudi su djelovanju formaldehida najčešće izloženi prilikom rada. Istraživanja pokazuju da su radnici u proizvodnim procesima iverice, zajedno s vatrogascima, najizloženija skupina. U tablici u nastavku prikazana je usporedba vrijednosti izloženosti formaldehidu određenih skupina zanimanja.

Tablica 3. Raspon izloženosti formaldehidu između različitih zanimanja [25].

Zanimanje	Raspon izloženosti (ppm)
Kemijski radnici	0.04 – 0.4
Radnici namještaja	0.16 – 0.4
Radnici u proizvodnji iverice	0.28 – 3.48
Radnici u uredu	0.07 – 0.13
Laboratorijski tehničari	0.11 – 0.27
Električari/mehaničari	0.06 – 0.18
Čistači	0.15 – 0.21
Vatrogasci	0.10 – 2.2
Djelatnici mrtvačnice	0.5 – 1.5

7.4. Akrolein (C₃H₄O)

Akrolein ili propenal najjednostavniji je spoj iz skupine aldehida i iznimno je toksičan zagađivač okoliša. Radi se o tekućini bez boje, intenzivnog kiselkastog mirisa. Miris koji se javlja kod izgaranja masti ili ulja za kuhanje je uzrokovan termalnim razlaganjem glicerola koji prelazi u akrolein. Akrolein primarno nastaje kao produkt izgaranja organskih materijala te se ljudi djelovanju akroleina najčešće izlažu kroz udisanje dima. Može ga se pronaći i u farmaceutskoj industriji, točnije kao dio sastava lijekova koji suzbijaju kancerogeno djelovanje. Izlaganje manjim koncentracijama akroleina predstavlja indirektnu opasnost za zdravlje čovjeka, odnosno akrolein svojim ulaskom u organizam pospješuje djelovanje drugih prisutnih toksina. Prisutnost akroleina u prostoru dovodi do iritirajućeg učinka na ljude, izaziva iritaciju i oštećenja kože, očiju i dišnog sustava. Istraživanja su pokazala da akrolein u organizmu može izazvati i

poteškoće u radu kardiovaskularnog sustava. Smatra ga se sistemskim otrovom zbog njegova djelovanja na stanice i strukturu DNA čovjeka što može preopteretiti sustave za obnovu organizma i dovesti do odumiranja stanica i raznih mutacija. OSHA sigurnosnu granicu za izlaganje akroleinu definira na vrijednosti do 0.1 ppm tijekom osmosatnog radnog vremena. [24]

7.5. Ksilen (C₈H₁₀)

Ksilen je bezbojna tekućina slatkastog mirisa. U tekućem stanju, ksilen je hlapljiva, nagrizajuća i zapaljiva kapljevina netopljiva u vodi, a topljiva u organskim otapalima. Može se pronaći u tri izomerna oblika: ortoksilen, metaksilen i paraksilen od kojih se svaka sastoji od benzenova prstena u spoju s dva elementa iz metilne skupine. Prirodni izvori ksilena su sirova nafta, čađa, emisije koje nastaju kroz procese biljaka i šumski požari. Ljudska djelovanja koja uključuju ksilen su procesi proizvodnje boje, lijepila, tinte i lakova. Također, kao i prethodni spojevi, nalazi se u sastavu ispušnih plinova motora na unutarnje izgaranje. Koristi se u proizvodnji raznih kemijskih spojeva pa ga se često u kućanstvima može naći u sredstvima za čišćenje. Akutno djelovanje ksilena podrazumijeva iritaciju dišnog sustava, kože i očiju, vrtoglavicu, glavobolje, gubitak svijesti, povraćanje, bolove u trbuhu, a izlaganje kože ksilenu može dovesti do razvoja dermatitisa. Kronično izlaganje ksilenu dovodi do poteškoća rada centralnog živčanog sustava, nanosi štetu respiratornom sustavu, vitalnim organima poput bubrega i jetre te ima štetan utjecaj na reproduktivne organe. OSHA definira sigurnu granicu izlaganja, tijekom osmosatnog radnog dana, do 100 ppm. [24]

7.6. Trikloretilen (C₂HCl₃)

Trikloretilen (C₂HCl₃) je hlapljiva, nezapaljiva, bezbojna, tekuća organska kemikalija, specifičnog slatkog mirisa. Ne može se pronaći u prirodi, produkt je kemijske sinteze. Primarno se koristi kao odmašćivač metalnih materijala, ali se nalazi i u raznim sredstvima za čišćenje kućanstva. Radi se o sredstvima poput odstranjivača mrlja, vlažnih maramica, razrjeđivača i sl. Može ga se pronaći u tlu, vodi i zraku te na mjestima gdje se proizvodi ili najviše koristi. Zbog svoje spore

razgradivosti, trajno ostaje u okolišu te kroz tlo dospijeva u podzemne vode što mu omogućava da svoje štetno djelovanje proširi na veću površinu.

Trikloretilen u organizam čovjeka ulazi dišnim putem, apsorpcijom kroz kožu ili konzumiranjem kontaminirane vode i hrane kroz probavni sustav. Akutno izlaganje trikloretilenu dovodi do razvoja raznih neuroloških i fizičkih simptoma. Unos trikloretilena u organizam izaziva vrtoglavice, glavobolje, povraćanje, osjećaj slabosti, bolove u trbuhu, iritaciju kože, dišnih puteva i očiju, umor te stanje bez svijesti. Dugoročno izlaganje utjecaju trikloretilena dovodi do poteškoća u radu neurološkog sustava, može izazvati oštećenja bubrega i jetre, ima utjecaj na reproduktivne organe te je za organizam čovjeka iznimno kancerogen. Naime, trikloretilen kod ljudi dovodi do razvoja karcinoma bubrega i karcinoma jetre. Neka istraživanja pokazuju da je trikloretilen povezan s razvojem Hodgkinovog limfoma, vrste tumora koja zahvaća sustav limfnih čvorova. OSHA definira sigurnu dozvoljenu granicu izlaganja, tijekom osmosatnog radnog dana, do 100 ppm. [24, 26]

8. SPECIFIČNE OPASNOSTI OVISNO O VRSTI POŽARA

Osim vrste gorivih tvari, izloženost vatrogasaca štetnim spojevima i njihovom utjecaju na zdravlje ovisi i o vrsti samog požara. Naime, koncentracije štetnih spojeva veće su kod požara zatvorenih prostora u odnosu na one kod otvorenih prostora, no požari otvorenih prostora, zbog svog razmjera kriju druge opasnosti.

8.1. Strukturni požari

Strukturnim požarom smatra se svako nekontrolirano gorenje stambenih, poslovnih, industrijskih i drugih sličnih objekata, odnosno zatvorenih prostora. Požari zatvorenih prostora predstavljaju najveću opasnost za vatrogasce. Osim visokih temperatura i mogućih fizičkih ozljeda uslijed urušavanja samih objekata, u zatvorenim prostorima dolazi do nakupljanja visokih koncentracija opasnih produkata koji se oslobađaju gorenjem. Uz to, uslijed smanjene koncentracije kisika, zbog slabije ventiliranosti prostora, često dolazi do procesa nepotpunog izgaranja što povećava rizik od akumulacije većih količina opasnih štetnih spojeva kao što je ugljikov monoksid (CO).

Zbog namjene samih prostora, često u njima nalazimo raznolika sredstva i materijale koje čovjek svakodnevno koristi. Stoga, dim strukturnih požara često je sačinjen od kombinacije različitih štetnih spojeva koje nije moguće susresti uslijed gorenja jedne vrste materijala. Veliki broj spojeva koji čine sastav dima strukturnih požara, dokazano štetno djeluje na organizam čovjeka te dovodi do razvoja bolesti kardiovaskularnog, respiratornog i neurološkog sustava.

U suradnji s vatrogascima grada Bostona, provedeno je istraživanje tijekom kojeg su vatrogasci, prilikom gašenja požara zatvorenih prostora, na sebi nosili mjerne uređaje kojim su bilježili koncentracije štetnih spojeva u prostoru. Zabilježene vrijednosti štetnih spojeva, ovisno o vremenu trajanja samog požara, bile su i do nekoliko puta veće od granice koja se smatra opasnom po život. Od svih izmjerenih koncentracija spojeva koji predstavljaju opasnost za vatrogasce, najviše su se javljali ugljikov monoksid, aldehidi (akrolein) i benzen. Ugljikov monoksid (CO) bio je prisutan u svim požarima na kojima su provedena mjerenja.

Koncentracije CO u prostoru gotovo su svaki put prelazile „STEL“ (dozvoljenu granicu kratkoročnog izlaganja u trajanju od 15 minuta – „short-term exposure limit“) koja za CO iznosi 400 ppm. U šesnaest provedenih mjerenja koncentracija CO je prelazila „IDLH“ (granica neposredne prijetnje za život ili zdravlje – „Immediately dangerous to life or health“) koja za CO iznosi 1500 ppm, a u četiri slučaja koncentracije CO u prostoru prelazile su i „STLC“ (granica preko koje dolazi do trenutne smrti – „short term lethal concentration“) koja iznosi 5000 ppm. Na temelju navedenog istraživanja možemo zaključiti da je ugljikov monoksid, kojeg se često zaboravlja i zanemaruje, bez sumnje, jedna od najvećih opasnosti po život i zdravlje vatrogasaca i unesrećenih koji se zateknu u požaru.

Akrolein (C_3H_4O) zabilježen je u gotovo svim izmjerenim koncentracijama štetnih spojeva strukturnih požara. Analiza podataka pokazala je da su u 50% slučajeva koncentracije akroleina prelazile „STEL“ koji za akrolein iznosi 0.3 ppm, a oko 10% izmjerenih koncentracija bile su više od „IDLH“ koja za akrolein iznosi 3 ppm. Benzen je izmjeren u 180 od 200 strukturnih požara. Unatoč niskim izmjerenim količinama, istraživanja benzena pokazala su da je za ljudsko zdravlje opasan već i pri izrazito niskim koncentracijama. Naime, benzen i drugi ugljikovodici već pri niskim koncentracijama dovode do kroničnih posljedica za organizam. Važno je razumjeti da ne postoje dva identična požara. Naime, kombinacije materijala zahvaćene požarom nikad nisu jednake te se zbog toga oslobađaju različite smjese štetnih spojeva u različitim uvjetima gorenja. Iz tog razloga bitno je, uz navedene štetne spojeve koji se prema istraživanju najčešće javljaju kod strukturnih požara, spomenuti i ostale opasne tvari pronađene tijekom mjerenja.

Jedan od spojeva koji je iznimno opasan, a često se javlja kao produkt procesa gorenja je cijanovodik (HCN). Cijanovodik se formira već pri niskim temperaturama kod izgaranja materijala koji su bogati dušikom. Radi se o materijalima poput sintetičkih i prirodnih vlakana, odnosno radi se o gorenju vune, svile i poliakrilata. Ugljikovodici, formaldehid i organske kiseline stvaraju se prilikom izgaranja fosilnih goriva pri nižim temperaturama. Požari visokih temperatura oslobađaju velike količine dušikovih oksida.

Neki od najtoksičnijih spojeva koji se mogu pronaći u dimu, oslobađaju se prilikom izgaranja plastičnih materijala. Kao primjer navodi se polivinil-klorid (PVC). PVC svoju primjenu pronalazi u gotovo svim aspektima ljudskog života, no nažalost, karakteristike koje ga čine poželjnim ujedno predstavljaju i najveću opasnost. Naime, PVC zbog velikog udjela klora u svom sastavu, prilikom gorenja oslobađa velike količine klorovodika (HCl) koji iznimno štetno djeluje na zdravlje ljudi. Istraživači su toksični utjecaj otkrivenih spojeva na mjestu požara usporedili s toksičnim utjecajem spojeva koji se oslobađaju uslijed gorenja četinjače (vrsta jele). [1, 27]

Tablica u nastavku teksta prikazuje toksičnost produkata gorivih materijala u odnosu na toksičnost produkata koji nastaju gorenjem četinjače. Indeks gorućih komponenti originalnih proizvoda koji sažima nekoliko karakteristika koje pridonose ili potiskuju toksičnost (što je niži indeks, to je toksičnost veća).

Tablica 4. Indeks toksičnosti produkata gorivih materijala [1]

Gorivi materijal	Index
Četinjača (vrsta jele)	100.00
Komprimirana smreka, bor, ploča jele	65.92
Izolacija od stakloplastike	63.59
Poliesterska smola	41.58
Celulozna vlakna	17.80
Poliuretanska pjena	12.95
Fenol formaldehid-fenolna smola	8.98
Izocijanatna pjena	7.57
Modakril	6.28
PVC	5.85
Vuna	5.77
Polistiren	5.47
Akrilonitril/butadien/stiren	4.04
Urea formaldehid pjena	3.91
PFTE	0.36

Tablica 5. u nastavku rada prikazuje sve zabilježene kemijske spojeve tijekom gašenja strukturnih požara.

Tablica 5. Kemijski spojevi zabilježeni u strukturnim požarima [1]

Acetaldehid	Dimetilbenzen	Metilciklopentan
Octena kiselina	Dimetilbutan	1-Metilciklopenten
Akrolein	Dimetilcikloheksan	Metilheptan
Benzen	Dimetilheksan	Metilheksan
Benzil klorid	3,6-Dimetiloktan	Metilpentan
Bromodiklormetan	Dimetilpentan	Metilpentaen
Bromoform	2,2-Dimetilpropan	Naftalen
Bromometan	Dodekan	Nikal karbonil
Bromotriklormetan	Etilbenzen	Nonan
1,3-Butadien	Etilbromid	1-Nonen
Butan	2-Etil-1-buten	Oktaflourisobutilen
Butilen	Etiltoluen	Oktan
Butilbenzen	Formaldehid	Okten
1-Butin	Mravlja kiselina	Pentan
Ugljikov tetraklorid	Freon 11	Pentaen
Ugljikov florid	(triklorflourometan)	Propan
Kobaltov fluorid	Freon 12 (diklorflourmetan)	Propen
Klorbenzen	Freon 22	Propilbenzen
Kloreten	(klorodiflourmetan)	Propin
Kloroform	Freon 113 (1,1,2-	Stiren
Klorometan	triklorflouretan)	1,1,2,2-Tetrakloreten
Cikloheksan	Freon 114 (1,2-	Tetrakloreten
Cikloheksen	dikloretraflouretan)	Toluen
Ciklopentan	Heptan	1,2,4-Triklorbenzen
Ciklopentaen	Hepten	Trikloreten
p-Cimen	Heksaklorbutadien	Trikloreten
Dekan	Heksan	Trimetilbenzen
1-Decen	Heksen	2,2,3-Trimetilbutan
Dibromklormetan	Heksilbenzen	2,2,5-Trimetilheksan
1,2-Dibrometan	Indan	Trimetilpentan
Dibrometan	Izocijanat	Undekan
Diklorbenzen	Izopropen (2-metil-1,3-	Vinil klorid
1,4-Diklorbutan	butadien)	Vinil metil eter
Dikloreten	Metan	Ksilen
Dikloreten	2-Metilbutan	
Diklorometan	Metilbuten	
1,2-Diklorpropan	Metilcikloheksan	
1,3-Diklorpropen	1-Metilcikloheksen	

8.2. Šumski požari (požari otvorenog prostora)

Šumski požari su oduvijek bili normalna pojava i nužni dio u normalnom funkcioniranju okoliša, ali i ujedno predstavljaju veliku opasnost za biljke, životinje, ljude i njihovu imovinu. Djelovanjem vatrogasnih snaga nastoji se spriječiti, odnosno minimalizirati štetan utjecaj i širenje šumskih požara. Vatrogasci koji sudjeluju u gašenju šumskih požara često su, zbog uvjeta u kojim se gašenje odvija, minimalno zaštićeni kako bi obavljanje zadaća bilo fizički moguće. Minimalna zaštita kod vatrogasaca predstavlja veliku opasnost za njihovo zdravlje. Naime, kod gašenja šumskih požara nije uobičajeno korištenje uređaja za zaštitu dišnih organa. Također, vatrogasci najčešće za vrijeme trajanja gašenja šumskih požara, koji često traju i do nekoliko dana, ostaju odjeveni u istu zaštitnu opremu na koju se kontinuirano vežu štetni kemijski spojevi oslobođeni prilikom izgaranja biomase. Nakon što se kemijski spojevi vežu na zaštitnu opremu vatrogasaca, putem apsorpcije kroz kožu ulaze u organizam i dovode do akutnih i kroničnih posljedica po zdravlje.

Dim koji se oslobađa prilikom gorenja šumskih požara kompleksnog je kemijskog sastava. Sastav dima određuje vrsta gorivog materijala te sami mikroklimatski uvjeti u kojima se proces gorenja odvija. Dim šumskih požara načinjen je od krupnih i finih čestica čađe, uljnih i metalnih supstanci te kemijskih spojeva kao što su ugljikov dioksid, hlapljivi organski spojevi, policiklički aromatski ugljikovodici, ugljikov monoksid, sumporov dioksid, dušikovi oksidi, dušik dioksid i razni teški metali. Iako je opće poznato da se udisanjem dima šumske vegetacije ljudi izlažu štetnim utjecajima raznih spojeva, postoji nedovoljan broj istraživanja koja pružaju detaljniji uvid u njihovo djelovanje na ljude.

Istraživanja koja su provedena na općoj populaciji povezuju dim šumskog požara s razvojem raznih zdravstvenih poteškoća pa se iz tog da zaključiti da isto vrijedi i za vatrogasce koji sudjeluju na gašenju takvih požara jer je njihova koncentracija izloženosti puno veća u odnosu na opću populaciju. Izlaganje djelovanju dima šumskog požara u organizam kod ljudi dovodi do oštećenja respiratornog sustava, odnosno izaziva stanja poput kronične opstruktivne plućne bolesti (KOPB). KOPB je bolest koja uključuje plućna oštećenja uslijed kojih dolazi do

smanjenja normalnog protoka zraka u pluća, što čini disanje otežanim. Uz poteškoće u radu respiratornog sustava, utjecaj dima šumskog požara može izazvati i probleme u radu imunološkog i kardiovaskularnog sustava, što dokazano dovodi do povećanog rizika od srčanog udara i zastoja srca.

Vatrogasci koji rade na gašenju šumskih požara izloženi su puno višim koncentracijama dima u odnosu na opću populaciju pa se zbog toga može zaključiti da su i utjecaji na zdravlje izraženiji. Dim u organizam primarno ulazi udisanjem, odnosno kroz respiratorni sustav, a sekundarno apsorbacijom kroz kožu, kao u navedenom primjeru kontaminirane zaštitne odjeće vatrogasaca.

Toksičan utjecaj dima na organizam čovjeka je kompleksan. Udisanje finih čestica može dovesti do upala i oksidativnog stresa respiratornih organa. Spojevi poput policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH) imaju dokazano štetan utjecaj na DNA čovjeka, odnosno potencijalno kancerogeno djelovanje za ljudski organizam. Iz navedenog se može zaključiti da su produkti koji se oslobađaju prilikom gorenja šumskih požara, izrazito opasni za vatrogasce, ali i opću populaciju. Glavna razlika između vatrogasaca koji gase strukturne požare i vatrogasaca koji gase šumske požare je korištenje uređaja za zaštitu dišnih organa. Korištenje uređaja za zaštitu dišnih organa uvelike smanjuje štetan utjecaj produkata gorenja na zdravlje vatrogasaca, što znači da se vatrogasci koji gase šumske požare izlažu puno većoj stopi rizika po zdravlje. Bitno je naglasiti važnost provedbe daljnjih istraživanja u području utjecaja oslobođenih produkata na zdravlje vatrogasaca koji gase šumske požare, kako bi se uspješno pronašla bolja rješenja u vidu sigurnosti za njihovo zdravlje. [28]

Slika 3. u nastavku prikazuje izgled zaštitne opreme vatrogasaca uslijed gašenja šumskih požara.



Slika 3. Vatrogasci na gašenju šumskih požara [29]

9. OPASNOST ZAŠTITNE OPREME

Bez zaštitne opreme, posao vatrogasaca ne bi bilo moguće obavljati. Vatrogasna zaštitna oprema omogućava vatrogascima sigurno obavljanje zadaća u okolinama opasnim po život i zdravlje. Zaštitna oprema štiti od mehaničkih djelovanja, djelovanja visokih temperatura te svojstvima vodootpornosti štiti od direktnog doticaja s opasnim tekućinama. No, trenutno ne postoji regulativa koja nalaže da zaštitna vatrogasna oprema mora biti predviđena za zaštitu vatrogasaca od doticaja sa štetnim plinovima. Naime, vatrogasci prilikom obavljanja zadaća na intervencijama gašenja požara, gotovo uvijek dolaze u doticaj s produktima izgaranja. Produkti izgaranja se uz pomoć krupnih i finih čestica koje nastaju gorenjem, nakupljaju, odnosno vežu na zaštitnu opremu vatrogasaca. Često se među produktima gorenja nalaze spojevi koji su takozvani trajni zagađivači, tj. spojevi koji sami po sebi nemaju mogućnost razlaganja pa trajno ostaju u okolišu. Iz navedenog se može zaključiti da štetni spojevi, ukoliko se zaštitna oprema redovno i pravilno ne održava, ostaju u odijelima nakon rada na intervencijama te tijekom daljnje uporabe zaštitne opreme štetno djeluju na zdravlje vatrogasaca.

Štetni spojevi koji se talože u zaštitnoj opremi, djelovanje na organizam vatrogasaca ostvaruju apsorpcijom kroz kožu. Istraživanja su pokazala da faktor apsorpcije kože čovjeka raste proporcionalno porastu temperature, što za vatrogasce koji su pri radu na intervencijama gotovo uvijek izloženi povišenim

temperaturama, povećava vjerojatnost od nastanka trajnih posljedica uzrokovanih djelovanjem štetnih spojeva.

Engleska vatrogasna zajednica financirala je istraživanje koje je provelo Sveučilište Lancashire s ciljem detaljnijeg uvida u opasnosti koje predstavlja zaštitna oprema vatrogasaca. Istraživanje je provedeno na 10.000 vatrogasaca s ukupno prikupljenih 1000 uzoraka zaštitne opreme vatrogasnih postrojbi iz cijele Engleske. Glavni zaključci istraživanja su da vatrogasci imaju i do četiri puta veću šansu od razvijanja nekog oblika karcinoma u odnosu na opću populaciju. Veliki dio unosa produkata gorenja u organizam dolazi upravo iz apsorpcije kroz kožu te faktor apsorpcije kože, porastom temperature, može doseći i do 400% normalne vrijednosti. Znanstvenici koji su proveli istraživanje kao rješenje navode pravilno i često održavanje, odnosno obaveznu dekontaminaciju zaštitne opreme nakon svake izloženosti produktima gorenja. Kontaminirana zaštitna oprema predstavlja veliku opasnost, osobito kod ponovnog izlaganja povišenim temperaturama, zbog povećanja faktora apsorpcije kože koji može doseći spomenutih 400% i tako unijeti u organizam veće koncentracije opasnih štetnih spojeva. Slika 4. u nastavku teksta prikazuje izgled vatrogasaca i njihove opreme nakon gašenja strukturnog požara. [30]

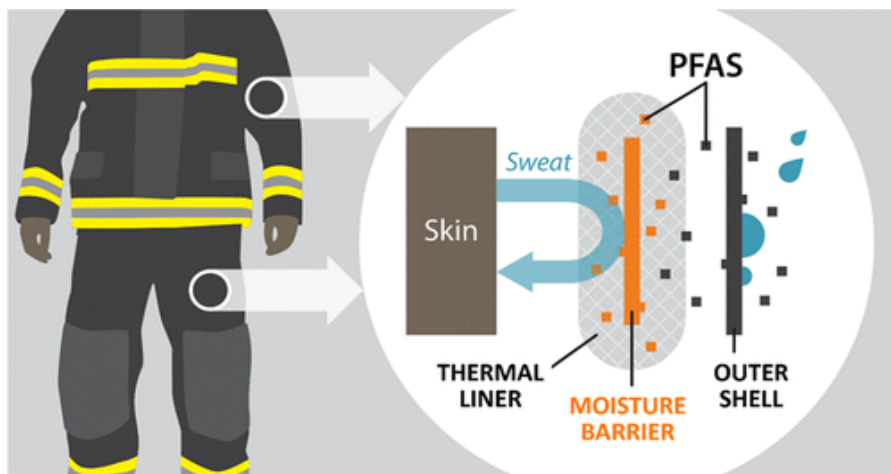


Slika 4. Vatrogasci nakon gašenja strukturnog požara [5]

Nova istraživanja zaštitne vatrogasne opreme pokazuju da uz sve navedene opasnosti s kojima se vatrogasci susreću, postoji i opasnost od materijala korištenog za izradu vatrogasnih zaštitnih odijela. Naime, pokazalo se da unutar slojeva zaštitnog odijela, dio materijala koji omogućava odijelu svojstva kojima pruža zaštitu vatrogasaca, sadrži kancerogene poliflouralkilne tvari „PFAS“. Navedene tvari pronađene su u sva tri sloja od kojih se sastoji zaštitno vatrogasno odijelo.

Polikloralkilne tvari su grupa sintetičkih kemikalija koja imaju široku primjenu zbog svojih zaštitnih svojstava. Zbog svoje otpornosti na toplinsko djelovanje, vodu i druge tekućine idealna su za izradu vatrogasne zaštitne opreme. No, navedena svojstva povezuje se s raznim zdravstvenim poteškoćama, uključujući kancerogenost, ometanje rada imunološkog sustava i poteškoća u regulaciji i lučenju hormona. Radi se o kemijskim tvarima koje spadaju u trajne zagađivače okoliša, odnosno o tvarima koje nemaju mogućnost razlaganja pa trajno ostaju u organizmu ili okolišu. Mjerenja provedena tijekom istraživanja pokazala su visoke koncentracije polifloralkilnih tvari u svim slojevima zaštitne odjeće, ovisno o njevoj starosti i iskorištenosti. Navodi se da poliflouralkilne tvari u organizam vatrogasaca ulaze apsorbacijom kroz kožu, tijekom obavljanja zadaća na intervencijama. Također, strugotine materijala od kojeg je načinjeno vatrogasno zaštitno odijelo mogu lebdjeti u prostoru i u organizam ući respiratornim putem. Znanstvenici savjetuju da se vatrogasna zaštitna odijela, zbog svog sadržaja polifloralkilnih tvari, drže u odvojenim prostorima i koriste samo u nuždi. Savjetuje se da vatrogasci tijekom nošenja zaštitnog odijela, na sebi imaju sloj odjeće koji ne sadrži poliflouralkilne tvari te im pruža zaštitnu barijeru i tako smanjuje apsorbaciju štetnih tvari kroz kožu. [31]

Slika 5. u nastavku prikazuje slojeve zaštitnog odijela koji sadrže štetne spojeve.



Slika 5. Slojevi zaštitnog odijela koji sadrže štetne spojeve [32]

10. POJAVA KARCINOMA U VATROGASTVU

Vatrogasci se najčešće izlažu kancerogenim spojevima koji su povezani s izgaranjem. Međunarodna agencija za istraživanje karcinoma (IARC) koja djeluje unutar Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), već dulji period vremena prati razvoj karcinoma kod vatrogasaca. Godine 2007. objavljeno je istraživanje koje navodi aktivnosti koje uključuju gašenje požara kao „potencijalno kancerogeno za ljude“. Godine 2022., nakon ukupne analize svih provedenih istraživanja na temu kancerogenosti vatrogastva, znanstvenici su zaključili da se profesionalna izloženost produktima gorenja kod vatrogasaca klasificira kao „kancerogeno za ljude“.

Vrste karcinoma koje najčešće zahvaćaju vatrogasce razlikuju se ovisno o svojstvima samih kancerogenih spojeva i koncentraciji izlaganja te načinu njihove apsorpcije u organizam. Prema istraživanju koje je provela agencija za istraživanje raka (IARC) najčešći oblici karcinoma kod vatrogasaca su rak mokraćnog mjehura, mezoteliom, rak debelog crijeva, rak prostate, leukemija, rak testisa, rak kože i rak limfnih čvorova. Istraživanja su pokazala da rak pluća i rak grla nisu izraženiji kod vatrogasaca u odnosu na ostatak populacije, ali se u rezultate sumnja zbog efekta „zdravog radnika“. Naime, vatrogasci da bi bili primljeni u službu, moraju biti odličnog fizičkog zdravlja što za istraživanja predstavlja problem jer je uzorak rađen na ljudima koji imaju odlične zdravstvene

predispozicije što može prividno umanjiti utjecaj produkata gorenja na zdravlje ljudi, odnosno vatrogasaca.

Kod liječničkih testiranja vatrogasaca istraživanja pokazuju prisutnost genotoksina, odnosno oštećenja DNA zbog mutagenih djelovanja produkata gorenja kojima se vatrogasci izlažu. Mutagena djelovanja izazivaju genetske promjene kod ljudi i tako dovode do razvoja raznih vrsta karcinoma. Uz mutagena djelovanja, pronađena su i kontinuirana stanja inflamacije dišnih puteva, stanja oksidativnog stresa, propadanje funkcionalnosti dišnog sustava koja se povezuje s bronhijalnom hiperaktivnosti i mnoge druge markere koji potencijalno ukazuju na kroničnu inflamaciju organizma, iako to nije potvrđeno samim istraživanjem.

Rak skrotuma, poznat kao „rak dimnjačara“ bio je česta pojava kod ljudi koji su obavljali poslove dimnjačara, odnosno bili izloženi štetnom djelovanju čađe. Vatrogasci su prilikom obavljanja zadaća na gašenju požara gotovo uvijek izloženi djelovanju čađe, koja ima mogućnost zadržavanja i taloženja u vatrogasnoj zaštitnoj odjeći i kontinuirane apsorpcije kroz kožu tijekom daljnjeg nošenja same zaštitne odjeće. Najveće istraživanje o kancerogenosti vatrogastva provodi se u SAD-u od 1950. godine. Istraživanje se provodi na uzorku od oko 30 000 vatrogasaca iz San Francisca, Chicaga i Philadelphije. Uspoređuje se smrtnost i razvoj tumora kod vatrogasaca u odnosu na opću populaciju iz tri navedena grada. Cilj istraživanja je dokazati kancerogenost vatrogastva. Obradom i prikupljanjem podataka kroz godine, znanstvenici su uspješno prikazali razliku u smrtnosti uzrokovanoj kancerogenim djelovanjem kod vatrogasaca u odnosu na opću populaciju. Naime, rezultati vatrogasaca pokazuju povišenu stopu smrtnosti kod svih vrsta karcinoma, a posebno kod mezotelioma, karcinoma testisa, Hodgkinova limfoma, karcinoma jednjaka, debelog crijeva, pluća, jetre i bubrega.

Prema statistici „IAFF“ (International association of firefighters) istraživanja od 2002. do 2019. razvoj karcinoma uzrokovao je 66% smrti ljudi koji su tijekom svog života obavljali vatrogasnu djelatnost. Prema „NIOSH“ (National institute for Occupational Health and Safety) vatrogasci imaju 9% veću šansu za razvoj

karcinoma u odnosu na opću populaciju, a 15% veću šansu da isti dovede to smrti. [33]

Pregled rezultata iz istraživanja koji prikazuju rizik od razvoja specifičnih vrsta karcinoma kod vatrogasaca u odnosu na opću populaciju:

- **KARCINOM TESTISA** – 2.02 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **MEZOTELIOM** – 2.0 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **MULTIPLI MIJELOM** (tumor koštane srži) – 1.53 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **HODGKINOV LIMFOM** (vrsta tumora limfnih čvorova) – 1.51 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **MELANOM** (karcinom kože) – 1.39 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **KARCINOM NA MOZGU** – 1.31 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **KARCINOM PROSTATE** – 1.28 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **KARCINOM DEBELOG CRIJEVA** – 1.21 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom
- **LEUKEMIJA** – 1.14 puta veći rizik u usporedbi s općom populacijom

11. ZAKLJUČAK

Produkti koji se oslobađaju tijekom i nakon gašenja požara predstavljaju veliku opasnost za zdravlje vatrogasaca. Izlaganje štetnim produktima dovodi do razvoja poteškoća u normalnoj funkciji organizma, razvoja bolesti i karcinoma kojima mogu biti zahvaćeni svi dijelovi tijela. Kancerogenost se kroz brojna istraživanja navodi kao glavni uzročnik smrti kod vatrogasaca. Iznimno je važno da su vatrogasci pravilno zaštićeni i dobro upoznati s opasnostima koje predstavljaju produkti oslobođeni gorenjem kako bi se njihovo štetno djelovanje uspješno svelo na minimum. Također, bitno je naglasiti važnost pravilnog održavanja zaštitne opreme koja predstavlja dodatnu opasnost i nakon intervencija. Naime, zaštitna oprema vatrogasaca, osim samih zaštitnih svojstava, ima negativnu karakteristiku apsorpcije štetnih produkata što produljuje trajanje štetnog djelovanja i na periode izvan trajanja intervencije.

12. LITERATURA

- [1] Guidotti T., Clough V.: „*Occupational health concerns of firefighting*“, Annual review of public health, 13 (1992), 151-171.
- [2] Karlović V.: „*Procesi gorenja i gašenja*“, Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika, Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb, (2006), ISBN 953-6385-16-3
- [3] Barfknecht T.: „*Toxicology of soot*“, Progress in Energy and Combustion Science, 9 (1983), 199-237.
- [4] Valavanidis A., Iliopoulos N., Gotsis G., Fiotakis K.: „*Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic*“, Journal of Hazardous Materials, 156 (2008), 1–3, 277-284.
- [5] Serdar B.: Heroji požara: Ovo su junaci koji su gasili buktinju u Splitu, www.24sata.hr, pristupljeno 20.06.2024.
- [6] Ernst A., Zibark J.: „*Carbon monoxide poisoning*“, Journal of Medicine, 339 (1998), 22, 1603-1608.
- [7] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): *Carbon Monoxide Kills Three Volunteer Firefighters Inside Well in Pennsylvania*, www.cdc.gov, pristupljeno 15.06.2024.
- [8] Modic J.: „*Carbon monoxide and COHb concentration in blood in various circumstances*“, *Energy and Buildings*, 35 (2003), 903–907.
- [9] Schlesinger R.B., Lippmann M.: „*Nitrogen oxides*“, Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects, John Wiley & Sons Inc., New Jersey (2020), ISBN: 978-1-119-43880-9
- [10] Khalaf E., Mohammadi M. i sur.: „*Effects of sulfur dioxide inhalation on human health: a review*“, Reviews on Environmental Health, 39 (2022), 331-337.
- [11] Breyse P.N.: „*Toxicological profile for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide*“, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta (2006)

- [12] Gerberding J.L.: „*Toxicological profile for Cyanide*“, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta (2006)
- [13] Pereira P., Ubeda X.: „*Spatial distribution of heavy metals released from ashes after a wildfire*“, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 18 (2010), 13-22.
- [14] Guertin J., Jacobs J.A., Avakian C.P.: „*Chromium (VI) Handbook*“, Independent Environmental Technical Evaluation Group (IETEG), Florida (2005), ISBN 1-56670-608-4
- [15] Yang L., Zhang Y., Wang F. i sur.: „*Toxicity of Mercury: Molecular Evidence*“, Chemosphere, 245 (2020) 1-109.
- [16] Wani A.L., Ara A., Usmani J.A.: „*Lead toxicity: a review*“, Interdisciplinary Toxicology, 8 (2015), 55-64.
- [17] Godt. J., Scheidig F. i sur.: „*The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health*“, Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 1 (2006), 1-6.
- [18] Pradosh R., Anupama S.: „*Metabolism and toxicity of arsenic: A human carcinogen*“, Current Science, 82 (2002), 38-45.
- [19] Marinković N., Pašalić D., Ferenčak G. i sur.: „*Dioxins and human toxicity*“, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 61 (2010), 445-453.
- [20] Van Leeuwen F. X. R., Sangster B., Hildebrandt G.: „*The Toxicology of Bromide Ion*“, Critical Reviews in Toxicology, 18 (1987), 189-213.
- [21] Kamal M. S., Razzak S. A., Hossain M. M.: „*Catalytic oxidation of volatile organic compounds (VOCs)*“, Atmospheric Environment, 140 (2016), 117-134.
- [22] Singh P.: What are VOCs, and Why are they Harmful?, www.devic-earth.com, pristupljeno 30.06.2024.
- [23] Soni V., Singh P., Shree V.: „*Effects of VOCs on Human Health*“, Air Pollution and Control, Khanna Publishing House, New Delhi (2018), ISBN 978-93-86173-30-0

- [24] World Health Organization: „*WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*“, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (2010), ISBN 978-92-890-0213-4
- [25] Kim K. H., Jahan S. A., Lee J. T.: „*Exposure to Formaldehyde and Its Potential Human Health Hazards*“, *Journal of Environmental Science and Health*, 29 (2011), 277-299.
- [26] Chiu W. A., Jinot J., Scott C. S. i sur.: „*Human Health Effects of Trichloroethylene: Key Findings and Scientific Issues*“, *Environmental Health Perspectives*, 121 (2013) 303-311.
- [27] Brandt-Rauf P. W., Fallon L. F. i sur.: „*Health hazards of fire fighters: exposure assessment*“, *Occupational and Environmental Medicine*, 45 (1988) 606-612.
- [28] Adetona O., Reinhardt T. E. i sur.: „*Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public*“, *Inhalation Toxicology*, 28 (2016), 95-139.
- [29] Radošević B.: Vatrogasci već danima gase dva požara na Velebitu, a zbog suše i mještanima donose vodu, www.tportal.hr, pristupljeno 01.07.2024.
- [30] Stec A., Wolffe T., Clinton A.: „*Minimising firefighters' exposure to toxic fire effluents*“, Fire Brigades Union, Kingston upon Thames (2020)
- [31] Peaslee G. F., Wilkinson J. T., McGuinness S. R. i sur.: „*Another Pathway for Firefighter Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Firefighter Textiles*“, *Environmental Science & Technology Letters*, 7 (2020), 594-599.
- [32] McElvery R.: „*Protective gear could expose firefighters to PFAS*“, www.acs.org, pristupljeno 02.07.2024.
- [33] Pinkerton L., Berte S. J., Yiin J. i sur.: „*Mortality in a cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia: an update*“, *Occupational Environmental Medicine*, 77 (2020), 84-93.

13. PRILOZI

13.1. Popis tablica

Tablica 1. Produkti izgaranja ovisno o vrsti gorive tvari [1].....	4
Tablica 2. Posljedice određenih koncentracija CO i COHb u krvi [8].....	9
Tablica 3. Raspon izloženosti formaldehidu između različitih zanimanja [25].....	23
Tablica 4. Indeks toksičnosti produkata [1].....	28
Tablica 5. Kemijski spojevi zabilježeni u strukturnim požarima [1].....	29

13.2. Popis slika

Slika 1. Čađa na zaštitnoj odjeći vatrogasaca [5].....	6
Slika 2. Hlapljivi organski spojevi u blizini čovjeka [22].....	20
Slika 3. Vatrogasci na gašenju šumskih požara [29].....	32
Slika 4. Vatrogasci nakon gašenja strukturnog požara [5].....	33
Slika 5. Slojevi zaštitnog odijela koji sadrže štetne spojeve [32].....	35