

ZAPALJIVE I PIROFORNE TVARI

Pocrnić, Anita

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:128:454113>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-31**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

Anita Pocrnić

ZAPALJIVE I PIROFORNE TVARI

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2019.

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

Anita Pocrnić

Flammable and pyrophoric substances

Final paper

Karlovac, 2019.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Anita Pocrnić

ZAPALJIVE I PIROFORNE TVARI

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Zvonimir Matusinović, v. pred.

Karlovac, 2019. godina



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 / specijalistički studij:.....
(označiti)

Usmjerenje:.....Karlovac,

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:..... Matični broj:.....

Naslov:.....

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

.....
Mentor:

dr. sc. Zvonimir Matusinović, v. pred.

.....
Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr.sc. Nikola Trbojević, prof.v.š.

PREDGOVOR

Zahvaljujem obitelji i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom studiranja. Zahvaljujem se svim kolega koji su mi uljepšali dane studiranja.

Zahvaljujem svim profesorima i predavačima koji su mi prenijeli potrebna znanja i vještine te ostalim zaposlenicima Veleučilišta u Karlovcu koji su mi na bilo koji način pomogli tijekom mog studiranja.

Zahvaljujem mentoru dr.sc. Zvonimiru Matusinoviću na stručnim savjetima, strpljenju, razumijevanju i uputama koje mi je davao pri pisanju završnog rada.

Zahvaljujem JVP Zagreb na materijalima i ostalim potrebnim informacijama koje su mi bile značajne za pisanje eksperimentalnog dijela završnog rada.

Zahvaljujem se svima koji su mi na bilo koji način doprinijeli pisanju moga rada i pružali mi podršku na bilo koji način.

SAŽETAK

Završni rad naslova „Zapaljive i piroforne tvari“ obrađuje vrste zapaljivih i pirofornih tvari te opisuje kako dolazi do njihova zapaljenja i samozapaljenja, tj. koji uvjeti trebaju biti zadovoljeni kako bi došlo do izazivanja požara. Tekst je popraćen brojnim kemijskim reakcijama i tablicama u kojima se nalaze sažeti važni podatci. Kroz rad se saznaje na što treba obratiti pozornost kako ne bi indirektno uzrokovali požar, a da niste ni svjesni da ste to napravili svojom nepažnjom. Ponekad zbog nepažnje, ali i nerazmišljanja čovjek može stvoriti idealne uvjete za nastanak požara, što može dovesti do velikih šteta, a nažalost i velikog broja ljudskih žrtava. U nekim situacijama se može djelovati na vrijeme, ako su vidljivi neki pokazatelji požara (npr. dim, miris paljenja, itd.), a ponekad djelovanje nije moguće. U istraživačkom dijelu rada opisana je vatrogasna intervencija požara na Industriji nafte „INA“ gdje je požar izbio na plinskim bocama za kućanstvo.

Ključne riječi: gorenje, zapaljive i piroforne tvari, tekućine, plinovi, krute tvari, izvori paljenja, plin, „INA“, JVP

SUMMARY

The final work of the title " Flammable and Pyrophoric Substances" addresses the types of flammable and pyrophoric substances and describes how their inflammation and self-ignition occurs , and also, what conditions must be met in order to cause a fire. The text is accompanied by numerous chemical reactions and tables that summarize important data. Through the work, one learns what to look for so that they do not cause a fire indirectly without being even aware that you have done so by your negligence. Sometimes due to carelessness but also recklessness, one can create the ideal conditions for a fire to occur, which can lead to great damage and, unfortunately, a great number of human casualties. In some situations reaction may be timely, if some fire indicators are visible (eg. smoke, odor of ignition, etc.) and sometimes it is not possible to react. The research section describes the fire intervention of the INA Oil Industry, where a fire broke out on domestic gas cylinders.

Key words: burning, flammable and pyrophoric substances, liquids, gases, solids, sources of ignition, gas, “INA”, “JVP” (Public Fire Department).

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA	4
PREDGOVOR	5
SAŽETAK	I
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
1.1. Predmet i cilj rada	1
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja	1
2. GORENJE	2
3. ZAPALJIVE TVARI	6
3.1. Zapaljivi plinovi	6
3.2. Zapaljive tekućine	7
3.2.1. Zapaljive pare	10
3.3. Zapaljive krute tvari	11
1.3.1. Drvo	13
1.3.2. Papir	14
1.3.3. Plastika	14
2. PIROFORNE TVARI	15
4.1. Samozapaljenje materijala biljnog porijekla	16
4.2. Samozapaljenje sušivih i polusušivih ulja i masti	17
2.3. Samozapaljenje raznih kemijskih tvari	18
2.3.1. Tvari koje se pale u dodiru s vodom	18
2.3.2. Tvari koje se pale u dodiru sa zrakom	19
2.3.3. Ostale kemijske reakcije	19
2.4. Samozapaljenje ugljena	20
2.5. Samozapaljenje uzrokovano egzotermnim kemijskim reakcijama	21
3. Izvori paljenja	24
3. VATROGASNA INTERVENCIJA	26
3.1. Opis intervencije	26
4. ZAKLJUČCI	28
5. LITERATURA	29

6. PRILOZI	30
6.3. Popis simbola	30
6.4. Popis slika	30
6.5. Popis tablica	30

1. UVOD

Završni rad “Zapaljive i piroforne tvari” sastoji se od: uvoda, 5 glavnih naslova, odgovarajućih pratećih podnaslova, istraživačkog dijela u kojem je opisana intervencija gašenja požara te zaključka na samome kraju. U početku rada se upoznaje s pojmom gorenja te koje je uvjete potrebno zadovoljiti kako bi došlo do gorenja. Nadalje, u radu se govori o vrstama zapaljivih tvari (tekućine, plinovi i krute tvari). U sljedećem poglavlju govori se o pirofornim tvarima, tj. samozapaljenju biljnog materijala, sušivih i polusušivih ulja i masti, kemijskih tvari, ugljena te samozapaljenja uzrokovanih egzotermnim kemijskim reakcijama. Posljednje poglavlje govori o izvorima paljenja. U radu je opisano na koje načine dolazi do zapaljenja i samozapaljenja, koji su uvjeti idealni za uzrokovanje istog te koji je vremenski period potreban za širenje požara za određene vrste zapaljivih i pirofornih tvari. Nastanci gorenja popraćeni odgovarajućim kemijskim reakcijama i tablicama koje olakšavaju razumijevanje pročitanog te daju sažete informacije i važne podatke vezane za rad. U istraživačkom dijelu rada opisana je vatrogasna intervencija na Industriji nafte „INA“ gdje je došlo do požara kod boca plina za kućanstvo.

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet rada su zapaljive i piroforne tvari te je cilj objasniti što dovodi do zapaljenja i samozapaljenja određenih vrsta tvari, kako to spriječiti ili što je potrebno učiniti da ne dođe do požara. Koji su uvjeti potrebni da dođe do paljenja i samozapaljenja određenih vrsta tvari.

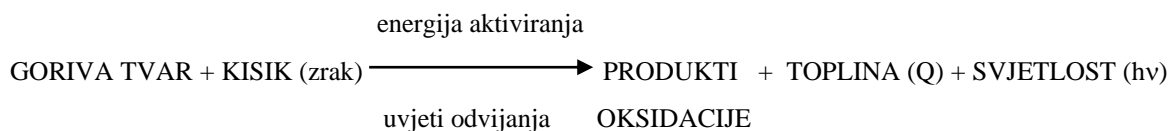
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Rad je napisan na temelju obvezne i izborne literature, na temelju odgovarajućih internetskih izvora te u suradnji s Javnom vatrogasnom postojbom Grada Zagreba.

2. GORENJE

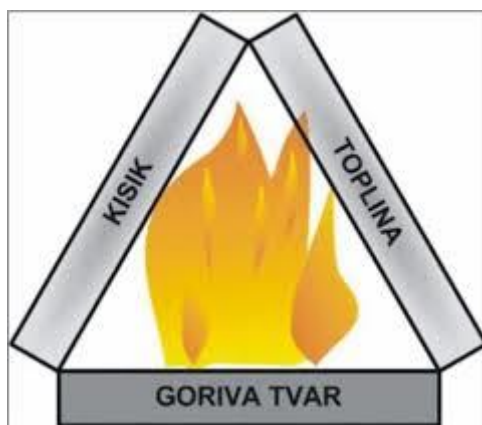
Gorenje je kemijska reakcija oksidacije u kojoj dolazi do spajanja gorive tvari i kisika uz obilno razvijanje topline i pojave svjetlosti. Postoji niz egzotermnih procesa izgaranja gdje u reakciji nije potrebno prisustvo kisika (npr. gorenje plina vodika u struji klora, zagrijane aluminijske prašine u struji dušika, itd.).

Za početak svakoga procesa gorenja potrebni su: goriva tvar, kisik i toplina pri kojoj dolazi do gorenja (temperatura paljenja). Izvor kisika potreban za gorenje u najvećem broju slučajeva nalazi se u zraku. Zrak je, kao osnovni izvor kisika potrebnog za gorenje, smjesa plinova u kojoj ima oko 21% kisika i 78% dušika te u malom udjelu plemeniti plin argon, ugljični dioksid te elementi u tragovima. Izvor kisika može biti i oksidacijsko sredstvo koje lako otpušta kisik (npr. nitrati, klorati, peroksidi, itd.).[3]



Gorive/zapaljive tvari su tvari koje se pri normalnim uvjetima pripaljivanja mogu lakše/teže zapaliti i dovesti do pojave požara. Osim dovođenja do pojave požara mogu u uvjetima već nastalog požara potpomognuti njegov razvoj i širenje. Neke od gorivih tvari su: nafta, benzin, alkoholi, metan, etan, propan, butan, papir, drvo, sijeno, plastika, itd. Tvari koje nisu gorive su: staklo, kamen, žbuka, metal, itd. Gorive tvari se najčešće sastoje od ugljika, vodika, sumpora, fosfora, dušika i kisika.

Tri osnovna uvjeta gorenja prikazana su u tzv. požarnom trokutu, gdje svaka stranica jednakostraničnoga trokuta predstavlja jedan od uvjeta gorenja (Slika 1). Požarni trokut predstavlja jednostavan grafički prikaz osnovnih triju uvjeta za nastajanje požara.[1]

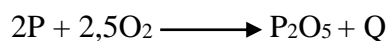
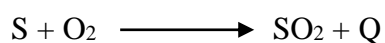
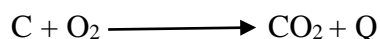


Sl. 1. Požarni trokut[1]

Ako nedostaje bilo koji od navedenih uvjeta pokraj stranica trokuta, požar ne može nastati. Ako ne postoji jedan od navedenih uvjeta požar će se ugasiti. Uklanjanjem jednog od uvjeta gorive tvari, kisika ili izvora paljenja temelji se cjelokupni sustav zaštite od požara. Kako ne bi došlo do nastanka požara potrebno je ukloniti izvore paljenja.

Gorive ili zapaljive tvari su tvari koje se pri normalnim uvjetima pripaljivanja mogu lakše ili teže zapaliti te dovesti do požara. U uvjetima nastalog požara mogu potpomognuti njegov nesmetan razvoj i širenje.[3]

Posebno se može istaknuti ugljik koji pri potpunom izgaranju iz gorive tvari daje s kisikom ugljični dioksid (CO_2), vodik vodu (H_2O), sumporni dioksid (SO_2), fosfor fosforni pentoksid (P_2O_5). Kemijske jednažbe su sljedeće, a Q je toplina:



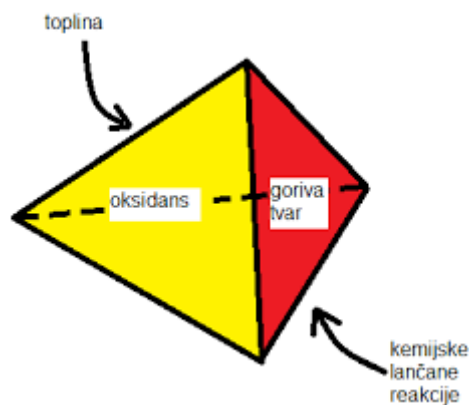
Kod nepotpunog gorenja (oksidacije) ugljik iz gorive tvari kemijski reagira samo djelomično zbog manjka kisika te će dati ugljični monoksid (CO), tj. elementarni ugljik (čau). S obzirom na kemijske reakcije oksidacije razikuje se nekoliko vrsta:

- tiha ili spora oksidacija (autooksidacija) je proces spajanja tvari iz goriva s kisikom iz zraka bez dovođenja energije. Radi se o sporim procesima na površinama gorive tvari bez pojave plamena. Vrlo sporo se oslobađaju male količine energije, a reakcija nastaje

uz normalnu sobnu temperature. Proces može trajati satima, danima pa čak i mjesecima (npr. korozija ili hrđa).

- brza oksidacija ili burno gorenje je proces brzog oslobađanja topline i svjetla. Proces traje dosta dugo da bi se mogao prekinuti gašenjem, a podrazumijeva gorenje krutih, tekućih i plinovitih tvari (npr. požari).
- trenutna oksidacija ili eksplozija je proces oksidacije koji je trenutna. Uz bljesak se oslobađa velika količina topline i udarni val (npr. eksplozije plinova, eksploziva, itd.). brzina gorenja iznosi 100 m/s.[3]

Lančana reakcija požara vidljiva je u požarnom tetraedru (Slika 2.) koji prikazuje proces izgaranja, što nije vidljivo u požarnom trokutu. Svaka površina dotiče tri druge površine te lančana reakcija ne dopušta da se tri druge strane raspadnu.



Sl. 2. Požarni tetraedar[4]

Produkti gorenja ovise o vrsti tvari i količini zraka (kisika) u okolini mjesta gdje se događa proces gorenja. Kada je prisutna dovoljna količina kisika za potpuno gorenje, samo malo iniciranje gorenja je olakšano, a brzina gorenja je veća. U produktima su u najviše slučajeva prisutni ugljični dioksid (CO_2) i vodena para (H_2O) te razni pirolitički produkti koji ovise o vrsti gorive tvari.

U uvjetima smanjene količine zraka nastaje tinjajuće izgaranje gdje nema plamena ili je plamen jako slab, brzina gorenja i širenja požara je vrlo mala. U produktima izgaranja je prisutan ugljični monoksid (CO), a u prostoru gdje je došlo nepotpunog izgaranja vidljivi su tragovi čađe. Gorenje tvari u zatvorenom prostoru dovodi do potrošnje kisika potrebnog za

gorenje, a tijekom trajanja požara količina se smanjuje. U uvjetima količine kisika od 16-17 % proces gorenja će prestati.[3]

Postoje slučajevi u kojima proces gorenja neke tvari može nastati i bez vanjskog energetskog izvora paljenja, tj. kada je goriva tvar zagrijana na temperaturi paljenja ili iznad temperature paljenja. To je i najniža temperatura kod koje tvar počinje gorjeti, a ovisi o kemijskom sastavu i fizikalnom stanju.

Sve vrste tvari mogu se podijeliti u dvije skupine: zapaljive i nezapaljive tvari. Zapaljive tvari se dijele na lako zapaljive i teško zapaljive tvari. Teško zapaljive tvari se u prisustvu plamena pale ili tinjanju, ali nakon uklanjanja plamena prestaju gorjeti (npr. plastična masa). Lako zapaljive tvari se zapale pod normalnim uvjetima i nakon toga samostalno gore do svoga potpunog sagorijevanja (npr. papir i benzin). Zapaljive tvari mogu biti u sva tri agregatna stanja: plinovitom, tekućem i krutom.[1]

3. ZAPALJIVE TVARI

Zapaljive tvari se dijele na: zapaljive plinove (propan, butan itd.), zapaljive tekućine (nafta, aceton, itd.) i zapaljive krute tvari (npr. plastika, papir, drvo, itd.).

3.1. Zapaljivi plinovi

Plinovi su tvari koje nemaju stalan oblik niti volumen nego uvijek ispunjava sav prostor u kojem se nalaze. Karakteristika svih plinova je da se molekule plina slobodno kreću unutar raspoloživih prostora. Neki od zapaljivih plinova su: metan, propan, butan, vodik, itd. Plinovi se mogu upaliti prisilno (npr. iskra, plamen) ili termički (npr. zagrijavanje cijele mase plina). Koncentracije moraju biti u području zapaljivosti. Kod gorenja plina njegove molekule se izravno spajaju s molekulama kisika iz zraka te se u tom procesu oslobađa toplina. Oslobođena toplina gorivu smjesu podržava iznad temperature paljenja te je zagrije na visoke temperature.

Za paljenje plina potrebna je određena količina mješavine kisika i dovoljno topline. Plinovi su zapaljive tekućine koje pri zapaljenju stvaraju vidjivi plamen. “Pripaljivanjem zapaljivog plina u smjesi sa zrakom formira se plamena fronta koja putuje kroz plinsku smjesu. Plamena fronta može biti stacionarna i putujuća. Stacionarna plamena fronta nastaje kada plinska smjesa putuje prema plamenoj fronti brzinom koja se plamena fronta kreće prema plinskoj smjesi. Putujuća plamena fronta nastaje kada plinska smjesa miruje, a plamena fronta putuje kroz nju.[1]

Pripaljivanje plinova u smjesi sa zrakom ili kisikom može biti prisilno ili termički. Kod prisilnog pripaljivanja smjesa se pripaljuje u području eksplozivnosti na sobnoj temperaturi, vanjskim izvorom paljenja. Termičko pripaljivanje plinova nastaje kada se smjesa u području eksplozivnosti zagrijava čitavim volumenom dok se ne upali bez vanjskoga izvora paljenja.

Područje zapaljivih ili eksplozivnih koncentracija plinova naziva se područje zapaljivosti ili eksplozivnosti, a ograničeno je donjom (DGE) i gornjom granicom (GGE). Svaka smjesa plinova ili para sa zrakom postotnog sastava između donje i gornje granice je zapaljiva ili eksplozivna. Najveća koncentracija plina ili pare pri kojoj je još moguće gorenje (eksplozija) naziva se gornja granica zapaljivosti (eksplozivnosti). Smjesa zraka i zapaljivog plina ili pare koja sadrži veću količinu gorive tvari od vrijednosti gornje granice zapaljivosti

(eksplozivnosti) nije opasna. Razlog tomu je premala količina zraka (kisika) u smjesi. U tablici 1 su vidljive granice eksplozivnosti i stehiometrijske smjese nekih zapaljivih plinova.[3]

Tablica 1. Granice eksplozivnosti i stehiometrijske smjese nekih zapaljivih plinova.[3]

Zapaljivi plin	Granice eksplozivnosti (vol %)		Stehiometrijska smjesa (vol %)
	<i>Donja granica (DGE)</i>	<i>Gornja granica (GGE)</i>	
Metan (CH ₄)	5,3	14,9	9,5
Etan (C ₂ H ₆)	3,1	12,5	5,64
Propan (C ₃ H ₈)	2,1	9,5	4,02
Butan (C ₄ H ₁₀)	1,86	8,41	3,12
Etin (acetilen) (C ₂ H ₂)	2,5	80,5	7,72
Vodik (H ₂)	4,0	74,2	29,50
Amonijak (NH ₃)	15,5	26,6	21,82
Ugljični monoksid (CO)	12,5	74,2	29,50
Sumporovodik (H ₂ S)	4,3	46,5	12,24

Najmanji sadržaj zapaljivog plina ili pare u smjesi sa zrakom, kisikom ili drugim oksidansom pri kojem je moguće gorenje (eksplozija) naziva se donja granica zapaljivosti (eksplozivnosti). Iz navedenog proizlazi da u slučaju stvaranja smjese zraka i zapaljivog plina ili para u kojoj je koncentracija zapaljive tvari manja od vrijednosti donje granice zapaljivosti (eksplozivnosti) neće doći do zapaljenja (eksplozije). Takva smjesa nije opasna i sadrži malu količinu zapaljivog materijala te veliku količinu zraka. Na granice zapaljivosti (eksplozivnosti) mogu utjecati: tlak, temperatura, vlažnost te prisutnost nekih drugih tvari.[3]

3.2. Zapaljive tekućine

Osobina zapaljivih tekućina je da lako i brzo isparavaju, a njihove pare pomiješane sa zrakom lako se zapale i često eksplodiraju ako je prisutan uzrok paljenja (npr. otvoreni

plamen, cigareta, električna iskra, iskra nastala trenjem, itd.). Gorenje zapaljivih tekućina svodi se na gorenje para koje se nalaze iznad površine tekućine. Brzina izgaranja ovisi o brzini isparavanja tekućine u parnu fazu. Brzina isparavanja tekućine u parnu fazu je veća što je površina isparavanja tekućine i temperature atmosfere iznad površine veća.

Gorenje je moguće ako se iznad tekućine pojavi dovoljna količina para koje će sa zrakom stvoriti zapaljivu smjesu. Koncentracija para tekućine u sloju iznad površine mora biti u intervalu između donje i gornje granice zapaljivosti. Tekućina će u potpunosti prijeći u parno stanje ako joj se dovede određena količina topline, a ta se toplina naziva toplina isparavanja. Toplina isparavanja je količina topline koja je potrebna da 1 kg neke tekućine koja je već zagrijana na temperaturu vrelišta u potpunosti ispari. Temperatura plamišta je najniža temperatura tekućine kod koje će se stvoriti dovoljna količina para da se mogu zapaliti u prisutnosti izvora paljenja.[3]

Tekuća goriva se lako prevode u plinovito i parovito stanje u kojem se jako dobro miješaju sa zrakom. Za njihovo potpuno izgaranje potrebno je manje kisika nego za kruta goriva. Prema podrijetlu tekuća goriva se dijele na prirodna i umjetna. Prirodna tekuća goriva su različite vrste zemnog ulja (nafta). Umjetna tekuća goriva (npr. benzin, petrolej, plinsko ulje, loživo ulje, itd.) su tekuća goriva dobivena preradom zemnog ulja te preradom zemnih destilacijski, rafinerijskih i drugih gorivih plinova. U umjetna goriva se ubrajaju i katrani dobiveni suhom destilacijom krutih goriva (npr. drvo, treset, kameni ugljen, itd.) te katranska ulja dobivena preradom istih. Sirova nafta je tamno obojena tekućina, neugodnog mirisa, specifične težine koja varira u granicama od 0,7 do 1,0 g/cm³ i više (npr. gruzijska i meksikanska ulja). Nafta je po svom kemijskom sastavu mješavina velikog broja ugljikovodika s manjim količinama spojeva kisika, sumpora i dušika. Sastav sirove nafte prema elementarnoj kemijskoj analizi je: ugljika 81-87 %, vodika 10-14 % kisika 0,1-7 % i dušika 0-1 %.[3]

Najvažnije grupe ugljikovodika zastupljenih u nafti su:

- zasićeni ugljikovodici parafinskog reda (alifatski ugljikovodici/parafini) čija je opća formula C_nH_{2n+2} (pentan, heksan, heptan, oktan, itd., sve do 16 C-atoma u molekuli kada isti postaju kruti ugljikovodici).
- nezasićeni ugljikovodici olefinskog reda (olefini) čija je formula C_nH_{2n} , C_nH_{2n-2} (butilen, butadien). Zbog jedne ili više dvostrukih veza u molekuli (nezasićenost spoja), vrlo su aktivni kemijski spojevi. Najviše su zastupljeni u teškim frakcijama nafte.

- nafteni ili cikloparafini prstenastog su rasporeda ugljikovih atoma čija je opća formula C_nH_{2n} (ciklopentan), a kemijski su vrlo aktivni.
- aromatski ugljikovodici (aromatic) izvode se od osnovnog člana benzene čija je formula C_6H_6 (npr. ksilen, toluene, itd.).[3]

U tablici 2 su vidljive vrste tekućih goriva i temperature njihova vrenja, koje su nastale frakcijskom destilacijom iz nafte.

Tablica 2. Područje vrenja nekih tekućih goriva.[3]

Vrsta tekućih goriva	Temperatura vrenja (°C)
Sirovi benzin	50 do 200
Rasvjetno ulje (petrolej)	150 do 300
Plinsko ulje (dizel)	200 do 350
Maziva i parafinska ulja	više od 350

U zapaljive tekućine ubrajaju se različita pogonska goriva (npr. petrolej, benzin), alkoholi, eteri, aceton, boje, lakovi i sl. Zapaljive tekućine ne gore nego plinovi pare nastale iznad njih. Isparavanje tekućina može biti brže i sporije, a to je uvjetovano različitim čimbenicima. Gorenje para iznad tekućina dolazi ako količina para zapaljive tekućine dostatna za stvaranje potrebnog zapaljivog omjera između para i zraka. Količina para iz tekućine je ovisna o njezinoj temperaturi. Iz tog proizlazi da će na određenoj temperaturi iz tekućine ispariti onolika količina para koja je potrebna da se sa zrakom stvori zapaljivi omjer. Brzina otpuštanja pare je veća kod tekućih tvari nego kod krutih. Razlog tome je što tekućine imaju manje gusto poredane molekule te mogu otpuštati paru u širokom temperaturnom području. Zapaljive tekućine mogu se zapaliti samo ako se zagriju na temperaturi na kojoj se iznad površine zapaljive tekućine nalazi para u koncentraciji da sa zrakom načini zapaljivu smjesu.[1]

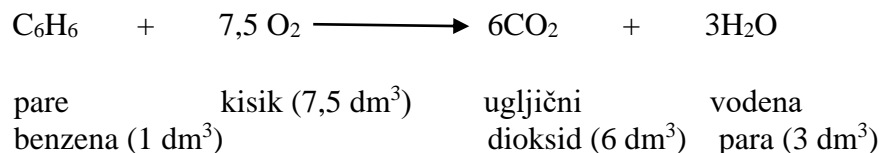
Najniža temperatura na kojoj se iznad tekućine stvara dovoljno para, da se sa zrakom načini takva smjesa koja će se u dodiru s izvorom paljenja zapaliti naziva se plamište tekućine. Tekućine koje imaju niže plamište predstavljaju veću opasnost za stvaranje požara. Najniža temperatura potrebna za uzrokovanje samoodrživog izgaranja neke tvari u odsutnosti iskre ili plamena, tj. bez prisutnosti vanjskog izvora paljenja je temperatura samozapaljenja. Temperature samozapaljenja su uvijek više od plamišta. Temperatura samozapaljenja je u

većini slučajeva viša od vrelišta tekućine. Kod tekućina se ta temperatura odnosi na pare tekućine.[7]

Zapaljive tekućine stvaraju oko 2,5 puta veću toplinu nego drvo te se ta toplina oslobađa tri do deset puta brže nego toplina iz drveta. Kod prolijevanja tekućina one zauzimaju veliku površinu te kada se zapale stvaraju veliku količinu topline.

3.2.1. Zapaljive pare

Ishlapljivanjem tekućina nastaju pare koje se miješaju sa zrakom te stvaraju zapaljive i eksplozivne smjese. Granice eksplozivnosti određuju se eksperimentalno (npr. metan gdje se može izračunati stehiometrijski odnos uvjeta oksidacije).[3]



Kisik potreban za oksidaciju (7,5 dm³) nalazi se u 35,7 dm³ zraka. Stehiometrijsku smjesu za paru benzene može se izračunati prema sljedećoj formuli:

$$\frac{1 \text{ dm}^3 \text{ para benzena}}{1 \text{ dm}^3 \text{ para benzena} + 35,7 \text{ dm}^3 \text{ zraka}} \times 100 = 2,7 \text{ vol\% benzena}$$

Eksperimentalno je utvrđeno da se granice eksplozivnosti za pare benzene kreću od 1,4 vol. % za donju granicu te do 7,45. % za gornju granicu. Što se tiče požara i eksplozija opasniji su oni plinovi koji imaju nižu donju granicu eksplozivnosti jer je potrebna manja količina plina u smjesi sa zrakom da dođe do neželjenih pojava.[3]

Za paljenje eksplozivne smjese plinova nije potrebno da se cijela smjesa zagrije na temperature paljenja, nego je dovoljno da se mali dio smjese oko uzročnika paljenja zagrije na određenu temperaturu. Nastala oksidacija u tom dijelu smjese širi se velikom brzinom kroz ostalu smjesu u obliku plamenog fronta i poprima karakter eksplozije. Zapaljivi plinovi (pare) u smjesi sa zrakom mogu izgarati samo ako su koncentracije plina (para) u smjesi za zrakom (kisikom) ili nekim drugim oksidansom u točno određenom odnosu.

Eksplozivna smjesa koja dovodi do potpunog izgaranja naziva se stehiometrijska smjesa. U tablici 3 vidljive su granice eksplozivnosti i stehiometrijske smjese zapaljivih para.

Tablica 3. Granice eksplozivnosti i stehiometrijske smjese zapaljivih para (vol %).[3]

Zapaljiv plin	Grranice eksplozivnosti (vol %)		Stehiometrijska smjesa (vol %)
	<i>Donja granica (DGE)</i>	<i>Gornja granica (GGE)</i>	
Benzen	7,90	1,35	2,72
Toulen	7,10	1,17	2,27
Etanol	18,95	3,28	6,52
Acetaldehid	57,00	3,97	7,72
Dietileter	36,50	1,85	3,37
Aceton	12,80	2,55	4,97
Etilacetat	11,40	2,18	4,02
Laki benzin	7,00	1,2	2,2
Teški benzin	5,00	0,7	1,35

3.3. Zapaljive krute tvari

Zapaljive krute tvari su tvari koje u suhom stanju mogu biti teže ili lakše zapaljive u dodiru s plamenom ili iskrom. Kruta goriva se prema podrijetlu dijele na prirodna (npr, drvo, ugljen, itd.) i umjetna (npr. briketi, koks, itd.). Gorenje krutih tvari ovisi o njihovom kemijskom sastavu pa se tako razlikuje: gorenje uz pirolizu, gorenje uz promjenu agregatnog stanja i direktno gorenje. Krute gorive tvari su: drvo, papir, ugljen, sijeno, plastika, tekstil, usitnjeni materijali, briketi, koks, drveni ugljen, ugljena prašina, itd. Goriva tvar podrazumijeva sav kruti materijal koji se u nekom objektu nalazi i koji prilikom požara može doprinijeti gorenju (npr. drvo, papir, slama, itd.).

Prilikom zagrijavanja krutog zapaljivog materijala masa se najprije suši, a zatim počinje proces termičkog razlaganja i izdvajanja hlapivih komponenti. Količina hlapivih komponenti ovisi o vrsti gorive krute tvari koja se miješa sa zrakom te one zajedno stvaraju gorivu smjesu oko krutine. One se zapale čim se postigne temperature paljenja smjese. Proces gorenja je

popraćen izdvajanjem dima koji sadrži sitne krute čestice, vodenu paru, octenu kiselinu, dušik, mravlju kiselinu, metanol, aceton, itd. Nakon izgaranja krute tvari ostaje pepeo (smjesa anorganskih tvari).[3]

Čvrste tvari koje gore uz pirolizu počinju gorenje bez promjene agregatnog stanja. Prije početka sagorijevanja mijenja im se kemijski sastav uslijed termičkog razlaganja. Ako su produkti razlaganja zapaljivi plinovi najprije dolazi do njihovog zapaljenja. Prije nego kruto gorivo počne gorjeti mora se promijeniti u stanje pare. U stanju vatre navedena promjena obično proizlazi iz početne primjene topline. Taj proces se naziva piroliza, a definira se kao kemijska razgradnja nastala djelovanjem topline. U ovom slučaju razgradnja uzrokuje prijelaz iz krutog stanja u stanje pare.[1]

Ako je tvar izložena zagrijavanju, iz nje se oslobađaju plinovi koji su zapaljivi pri određenoj temperature. Proces pirolize započinje pri temperaturi od 80°C, a piroliza drveta počinje pri temperature od 150 do 200°C. Ako se para pomiješa dovoljno sa zrakom i zagrije se na dovoljno visokoj temperature dolazi do sagorijevanja iste.[1]

Brzina gorenja krutog goriva ovisi i o konfiguraciji. Kruta goriva u obliku prašine brže gore od većih materijala, tj. rasute krute tvari imaju veću površinu izloženu toplini te se toplina troši brže pa je i isparavanje brže. Prašina se sastoji od sitnih dijelova pa kad se oblak zapaljive prašine pomiješa sa zrakom i pri tom se zapali dolazi do brzog i eksplozivnog gorenja.

Krute tvari se mogu zapaliti prisilno i termički, a to odgovara temperature plamišta ili samozapaljenja. Temperature plamišta krute tvari je temperature na koju treba zagrijati površinu kako bi se pirolizom oslobodio dovoljan broj plinovitih produkata da bi se oni mogli upaliti vanjskim izvorom paljena. Temperatura samozapaljenja krute tvari je temperatura na koju treba zagrijati površinu da bi ona upalila plinovite produkte pirolize bez vanjskog izvora paljenja.

Gorenje uz pirolizu odnosi se na krute tvari koje gore plamenom i žarom, a žar nakon gorenja postaje pepeo. Na taj način gore razni organski materijali (npr. drvo, papir, tekstil, itd.). Gorenje uz promjenu agregatnog stanja odnosi se na krute tvari koje zagrijavanjem prelaze u tekuće stanje pa iz tekućeg u plinovito te pri tom ne mijenjaju kemijski sastav. Na visokim temperaturama dolazi do kemijskog razlaganja, miješanja s kisikom, zapaljenja i gorenja (npr. čisti parafin i vosak).[2]

Direktno gorenje se odnosi na krute tvari koje gore žarom bez plamena (npr. kruti elementi i metali). Metali gore na visokim temperaturama (npr. gorenje Al i Mg odvija se pri temperaturi od 3900°C).[1]

Svi metali prema načinu gorenja mogu se podijeliti na metale koji gore na svojoj površini bez isparavanja samog metala i metali koji gore u parnoj fazi. Kako bi metal gorio u parnoj fazi mora se gorenjem osloboditi dovoljno topline da ispari. Metalima kojima su temperature vrelišta izuzetno visoke ne mogu prijeći u fazu pare nego gore površinski. Požarno su opasniji metali koji gore u fazi pare iz razloga jer se taj požar brzo širi.

1.3.1. Drvo

Drvo pripada u skupinu gorivih krutih tvari. U industriji, građevinarstvu i domaćinstvu u upotrebi je veliki broj vrsta raznovrsnog drvenog materijala obrađenog u skladu s namjenom. Cilj je da se u slučaju požara nađe više vrsta drvenog materijala. Stupanj zapaljivosti drveta ovisi o vrsti drveta, obrađenosti, gustoći, stupnju vlažnosti, vrsti vatrootpornih i zaštitnih premaza, itd. Izgaranje će biti brže što je manja njegova specifična težina i što je sloj drveta tanji, a površina koja je pristupačna izgaranju veća. Glatko blanžano drvo se teže zapali od hrapavo blanžanog drveta, hrastovina je otpornija od četinjače, prisutnost smole povećava gorivost, itd. Drvo je slab vodič topline, a plamen koji zahvaća vanjsku površinu napreduje sporo prema unutrašnjosti. Ako se drvo nalazi u krupnim komadima (npr. grede, mostovi, itd.), gorenje može samo od sebe prestati. Uzrok prestanka gorenja je stvaranje sloja ugljena koji štiti unutrašnjost od daljnjeg širenja fronte plamena.

Drvo je kao organski materijal zapaljivo te kako bi se zaštitilo od biljnih mikroorganizama, utjecaja vlage i drugih štetočina, premazuje se raznim zaštitnim premazima. Zaštita od zapaljenja postiže se premazivanjem drveta kemijskim spojevima, koji sprečavaju ili usporavaju gorenje (npr. karbonati, sulfati, silikati, itd.). Drvo se može zapaliti otvorenim plamenom ili kontaktom s užarenim predmetom. U tablici 4 je vidljiva temperatura gorenja nekih vrsta drveta.

Tablica 4. Vrijednost temperature gorenja za neke vrste drveta. [3]

Vrsta drveta	Temperatura gorenja (°C)
Brijest, jasen, omorika, smreka	270
Bukva, grab, orah	275

Mahagonij, šperploča	285
Hrast, jelovina	290

1.3.2. Papir

Papir je jedan od najčešćih i najjeftinijih materijala, a potražnja za njim je iz dana u dan sve veća i veća. Osnovne sirovine za proizvodnju papirnih sirovina su višegodišnje biljke (drveće) i jednogodišnje bilje. U proizvodnji papira, osim drveta upotrebljavaju se i druge različite tvari: veziva, punila, minerali, bjelila, boje, stari papir, itd. Papir pripada u skupinu lakozapaljivih krutih tvari koje intenzivno gore. Brzina izgaranja ovisi o vrsti papira i načinu pakiranja. Ako je papir složen u obliku listova zbog nedostatka kisika u unutrašnjosti, izgaranje će se odvijati samo na vanjskim rubnim dijelovima (npr. knjige, složeni papiri, itd.).

1.3.3. Plastika

Plastični materijali su su vrlo rasprostranjeni u industriji, domaćinstvu i građevinarstvu (npr. PVC, poliesteri, itd.). Plastični materijali pripadaju skupini zapaljivih materijala. Zbog djelovanja visokih temperature može doći do potpunog izgaranja ili plastičnog deformiranja, a to ovisi o vrsti plastike, vremenu te stupnju izloženosti visokoj temperature.

Plastični materijal polistirol (stiropor) se u građevinarstvu koristi kao toplinski izolator. Postoje dvije vrste stiropora: normalni i samogasivi. Normalni stiropor pod djelovanjem plamena intenzivno oslobađa zapaljive plinovite produkte te time utječe na povećanje intenziteta plamena. Zračenjem topline, provođenjem ili dodirrom s vrućim i užarenim predmetima neće doći do zapaljenja mase, nego samo do topljenja. Samogasivi stiropor nakon prekida djelovanja plamena prestaje gorjeti, tj. dolazi do samogašenja.

Poliesterski materijali armirani staklenom vunom koriste se u proizvodnji cisterni, silosa i nosivih građevinskih elemenata. Poliuretanske mase se koriste u građevinarstvu kao termoizolacijski materijal. Gore u prisutnosti plamena, a nakon prestanka djelovanja plamena oni se gase i osim površine na koju je bio prislonjen plamen, zadržavaju istu strukturu i izgled po cijeloj površini.

2. PIROFORNE TVARI

Najtipičniji oblici pirofornih (samozapaljivih/samooksidiranih) tvari su: materijali biljnog podrijetla, sušive/polusušive masti te ulja, razne kemijske tvari i ugljen.

U nekim slučajevima proces gorenja neke tvari može započeti i bez dovođenja topline nekim vanjskim energetskim izvorom paljenja. Takvi slučajevi se događaju kada se goriva tvar (kruta tvar, tekuća ili plinovita tvar), bez izravnog dodira s vanjskim izvorom paljenja (plamen ili iskra) i bez daljnjeg dovođenja topline zagrije do određene temperature koja se zove temperature samozapaljenja. To se naziva spontano zapaljenje te u tim uvjetima započinje proces spajanja tvari s kisikom, izgaranja te požara. Temperature samozapaljenja ovisi o: vrsti i kemijskom sastavu gorive tvari, koncentraciji kisika, usitnjenosti materijala, itd.

Samozapaljenje je pojava zagrijavanja, zapaljenja i gorenja materijala bez dovođenja bilo kakve vanjske energije, tj. bez bilo kakvog vanjskog energetskog izvora paljenja. Toplinska energija se stvara određenim egzotermnim procesima u samoj masi tvari. Egzotermnost nekog kemijskog ili biološkog procesa podrazumijeva nastajanje i oslobađanje toplinske energije. Toplinska energija se može manifestirati kao mjerljivo zagrijavanje medija, pojavom otvorenog plamena i dima te eksplozijom. Oslobođena toplina akumulirana na malom prostoru tijekom procesa može uzrokovati tinjajući i otvoreni plamen te požar. Za navedeni proces potrebni su pogodni uvjeti, gorivi materijal, nemogućnost odvođenja nastale topline (izmjene), klimatski uvjeti, vrsta i količina gorive tvari.[3]

Temperatura samozagrijavanja je najniža temperatura pri kojoj se u tvari ili materijalu javljaju različiti egzotermni procesi oksidacije, razgradnje i sl., a koji mogu dovesti do samozapaljenja. Ako se u nekom materijalu, na bilo koji način postigne temperatura samozagrijavanja postoje mogućnosti da će doći do samozapaljenja i mogućeg požara. Pojava je karakteristična za mnoge krute tvari (npr. porozne, vlaknaste, praškaste, itd.) pa se prilikom prijevoza i skladištenja treba posvetiti pažnja pri rukovanju i prijevozu. Pojava samozapaljenja ovisi o nekoliko osnovnih čimbenika:

1. Prirodi tvari, tj. izraženoj većoj ili manjoj sklonosti prema zapaljenju. Sposobnost niza tvari i materijala da se sami zapale zagrijavanjem do relativno niskih temperatura ili u kontaktu s drugim tvarima, kao i djelovanjem topline oslobođene aktivnošću mikroorganizama u procesu njihove životne aktivnosti naziva se sklonost samozapaljenju. Sklonost materijala i tvari samozapaljenju moguće je predvidjeti i

odrediti pomoću parametara kao što su stupanj ovisnosti između temperature okoline, veličine ispitivanog uzorka i vremena njegovog samozapaljenja.

2. Stanju materijala (npr. suh, vlažan, sitan, mastan, praškast, porozan, itd.).
3. Načinu i mjestu skladištenja (postoji mogućnost da veće količine materijala mogu biti uskladištene u nekoj gomili u prostoru, gdje nema prirodne ili prisilne ventilacije, tj. gdje nema izmjene topline).
4. Vanjskoj temperature i vlažnosti zraka (parametri koji utječu na pojavu samozagrijavanja, pojačavaju aktivnost mikroorganizama i sl.).
5. Sadržaju masti i ulja te katalizatora.
6. Količini isparivih kemijskih spojeva.
7. Povećanju koncentracije kisika.[3]

4.1. Samozapaljenje materijala biljnog porijekla

Materijali biljnog podrijetla koji su skloni samozapaljenju su: sijeno, slama, piljevina, djetelina, žitarice, brašno, drvene strugotine i sl. Neodgovarajućim uvjetima skladištenja često izazivaju samozapaljenje. Do samozapaljenja biljnog materijala dolazi zbog raznih bioloških procesa. Prilikom samozapaljenja dolazi do oslobađanja toplinske energije, koja se manjim dijelovima odvodi u okolinu, a većim dijelom akumulira u masi tvari. Akumulirana energija povećava temperaturu mase te dalje ubrzava procese oslobađanja i dalje akumulacije toplinske energije. Količina akumulirane tvari ovisi o vrsti tvari i točki paljenja. Kada određena količina akumulirane tvari dosegne određenu vrijednost započinje proces tinjanja te dolazi do stvaranja užarenih jezgri. Gdje je materijal manje sabijen i gdje ima više kisika tinjanje se određenom brzinom širi prema vanjskoj površini mase te pri tom stvara tzv. požarne kanale. Brzina tinjanja ovisi o količini zraka, tj. o dotoku zraka, a put nije pravocrtan. Put tinjanja kreće se kroz mjesta gdje je materijal rahliji i bogatiji kisikom (zrakom) potrebnim za izgaranjem materijala. Na mjestima gdje požarni kanali izbiju na površinu započinje izgaranje otvorenim plamenom te nastupa klasični požar. Požar se kreće smjerom iz unutrašnjosti prema van.

Za samozapaljenje materijala biljnog podrijetla osnovni uvjet je veća količina uskladištenog materijala, loša ventilacija te postojanje određene količine vlage u materijalu. Dolazi do raspadanja mase zbog djelovanja mikroorganizama (npr. sijeno nakon košenja nije dovoljno suho, dolazi do ovlaživanja biljne mase te u neadekvatnim uvjetima skladištenja velikih količina sijena zbog prisutne vlage sadržane u unutrašnjosti

dolazi do razvoja mikroorganizama). Iz navedenog proizlazi proces truljenja i raspada biljnog materijala te uz temperature sijena od oko 70°C. Ovaj proces traje otprilike tri do četiri dana. Nakon toga dolazi do fizikalnih i kemijskih promjena tvari, uz intenzivno stvaranje i akumulaciju topline te proces samozagrijavanja mase u unutrašnjosti (temperature od 220 do 240°C). Na navedenoj temperaturi nastaju užarene jezgre te se požar dalje širi kroz požarne kanale, prema dnu ili bočnim stranama.[3]

Vanjski znaci koji mogu ukazivati na proces samozagrijavanja i da postoji mogućnost samozapaljenja su slijeganje i pojava ulegnuća sijena, razvijanje topline, dima i miris gorenja. Vrijeme koje je potrebno da bi došlo do samozapaljenja je destetak dana od trenutka uskladištenja pa do tri ili četiri mjeseca. Ako sijeno sadrži oko 45% vlage procesi samozapaljenja počinju prvi ili drugi dan nakon skladištenja, a maksimalno nakon petnaest dana.

4.2. Samozapaljenje sušivih i polusušivih ulja i masti

Ulja i masti biljnog podrijetla u svom sastavu sadrže nezasićene organske spojeve. Prikladne su za oksidaciju prilikom koje dolazi do oslobađanja topline i pripadaju u red opasnijih tvari podložnih samozapaljenju koje može dovesti do požara. Masti i ulja životinjskog podrijetla manje su sklona samozapaljenju. Tkanine ili papiri natopljeni uljem i uskladišteni u većim količinama u gomili, gdje je onemogućeno odvođenje oksidacijom stvorene toplinske energije dovest će do zagrijavanja, pregrijavanja i samozapaljenja.

Na samozapaljenje utječe veliki broj čimbenika: količina ulja i masnoća, nezasićenost i visok sadržaj slobodnih masnih kiselina, prisutnost zraka, prisutnost i karakteristike gorivog nosivog sloja, priroda tvari, smanjena mogućnost odvođenja nastale topline, temperatura tvari i okoline, itd. Materijalai podložni samozapaljenju su:

1. Razne vrste papira natopljene određenim količinama ulja (posebno lanenim), dovest će nakon određenog vremena do povišenja temperature sustava. Veća podložnost samozapaljenju papira je kod onih papira kod kojih se ulje bolje razlijeva te ima veću površinu. To omogućava bolji kontakt sa zrakom (kisikom) i bolju reakciju.
2. Tekstilna vlakna su opasnija za pojavu požara jer se svako vlakno natapa uljem pa se tako stvara velika površina pogodna za oksidaciju (npr. 7 g vate + 14 g lanenog ulja dolazi do temperature smjese preko 300 °C).
3. Krpe i pamučnjak natopljenije lenenim uljem u omjeru 2:1 rezultiraju pojavom plamena u labaratorijskim uvjetima za otprilike četiri sata.

4. Pištolj za špricanje onečišćen ostacima boje, ostavljen na radijatoru u prisutnosti lako gorivog materijala predstavlja opasnost od oksidacije i akumulacije topline.
5. Bala sirovog pamuka kod neadekvatnog uskladištenja, ako sadrži određene količine pamučnih sjemenki (ulje), uz povoljne uvjete vanjske temperaure i vlažnosti zraka dovodi do samozapaljenja. Centar požara nalazi se unutar bale.
6. Pamuk je vlaknast i sklon samozapaljenju prilikom djelovanja dušične ili sumporne kiseline i u kontaktu s oksidansima. Lako se zapali od iskre i lokalnog samozapaljenja (npr. od međusobnog trenja žica za baliranje, tj. pakiranje pamuka). Biljna ulja koja padnu na pamuk lako se oksidiraju i izazivaju samozapaljenje.
7. Riblje ulje je jako opasno ako se njime impregniraju porozni ili vlaknasti materijali.
8. Nauljene krpe i svila uzrokuju samozapaljenje u većoj količini, bez odgovarajuće ventilacije.
9. Boje koje sadrže ulje za sušenje uključuju razne proizvode, onečišćene krpe u većoj količini bez odgovarajuće ventilacije.
10. Sojino ulje uzrokuje samozapaljenje iz razloga jer se nauljeni materijal lako zagrijava ako nije dobro ventiliran.[3]

Od svih ulja, masti i njihovih kombinacija najveća sklonost samozapaljenju je kod sljedećih: laneno ulje, konopljino, orahovo, makovo, suncokretovo, repičino, sojino, gušče, pamučno, kokosovo, maslinovo, itd.

2.3. Samozapaljenje raznih kemijskih tvari

Postoje kemijske tvari koje u dodiru s vodom ili sa zrakom počinju gorjeti. Veliki broj tvari u međusobnoj reakciji ili djelovanjem na gorivi materijal daje dovoljnu količinu energije od koje može započeti proces gorenja.

2.3.1. Tvari koje se pale u dodiru s vodom

Prilikom kontakta s vodom stvaraju se zapaljivi i eksplozivni plinovi koji se pale toplinom oslobođenom prilikom kemijske reakcije. Reakcije su najčešće burne i mogu prijeći u eksploziju. U tu skupinu spadaju: alkalni metali, karbidi kalcija, hidridi alkalnih i zemnoalkalnih metala, itd.

2.3.2. Tvari koje se pale u dodiru sa zrakom

Bijeli fosfor pali se u reakciji s kisikom iz zraka te prelazi u plin fosfor (V) oksid (P_2O_5 , fosforni pentoksid). Iznimno je otrovan i opasan. Ne otapa se u vodi i zbog te pogodnosti i činjenice da na zraku odmah počinje gorjeti čuva se otopljen u posudi s vodom. Vrlo dobro se otapa u ugljičnom disulfidu (CS_2). Tako pripremljena otopina razlivena na površini gorivog materijala, dovest će vrlo brzo do pojave požara. Ugljični disulfid kao lakohlapiva tekućina brzo ishlapi nakon čega zaostaje čisti bijeli fosfor koji odmah kemijski reagira s kisikom iz zraka (brza oksidacija) uz pojavu plamena. Gorivi će materijal vrlo brzo prihvatiti plamen izgaranja fosfora.[3]

2.3.3. Ostale kemijske reakcije

Kalcijev karbid u reakciji s vodom oslobađa plin etin (acetylen), u metalurgiji poznat kao medij koji se koristi za rezanje i autogeno zavarivanje metala. Plin acetylen (C_2H_2) je bez boje, bez karakteristinog mirisa, a zapaljen gori sa zrakom svijetlim plamenom. Vrlo brzo oblikuje eksplozivne smjese, a eksplozivno reagira i kada se tlači na dva ili više atmosfera.[3]

Papir, strugotina i druge gorive tvari zapalit će se djelovanjem 65% otopine vodikovog peroksida (H_2O_2). Vrlo je jak oksidans. Djelovanjem dušične kiseline (HNO_3), sumporne kiseline (H_2SO_4) ili nekog drugog jakog oksidansa na papir, dolazi do znatnog povećanja mogućnosti zapaljenja. Dušična kiselina (HNO_3) je negoriva bezbojna nagrizajuća tekućina, vrlo je jak oksidans i u kontaktu s mnogim gorivim tvarima (npr. drvena prašina, salama, sijeno, itd.) izaziva njihovo samozapaljenje. Djelovanjem sumporne kiseline na organske tvari ili materijale dolazi do burnih kemijskih reakcija uz oslobađanje topline dovoljne da se cijeli sustav odmah zapali. Smjesa željeznog oksida i aluminijskog praha prilikom gorenja stvara izrazito visoku temperaturu. Koristi se u tehnici topljenja metala (npr. zavarivanja tračnica), a zapaljenje se može pokrenuti prskalicom. Tragovi taljenja i termičkih destrukcija na metalnim dijelovima znakovi su da je na tim mjestima bila razvijena visoka temperatura gorenja ($3000^\circ C$). Peroksidi su nestabilne, eksplozivno opasne i zapaljive tvari. Raspadanje je obično egzotermno, a ako je masa veća može doći do eksplozivnog raspada. Peroksidi du oksidansi, a u kontaktu s lakozapaljivim tvarima može doći do zapaljenja. Većina peroksida lako se zapali od iskre, plamena šibice te od sličnih izvora paljenja, a izgore velikom brzinom. Ako je masa gorenja veća dolazi do eksplozije. Perklorna kiselina ($HClO_4$), bezbojna je tekućina vrlo jak oksidans. Bezvodna kiselina predstavlja nestabilnu eksplozivnu opasnu tekućinu (raspada se

uz eksploziju). Trgovačka perklorna kiselina (70-72%) u dodiru s većinom organskih tvari može izazvati eksploziju ili samozapaljenje. Natrijev klorat (NaClO_3) je bijela kristalinična, negoriva eksplozivna i opasna tvar. Vrlo je jak i nestabilan oksidans te pri zagrijavanju ili trenju se raspada uz izlučivanje kisika, pri čemu raspad može biti eksplozivan. Smjese s gorivim tvarima su opasne te može doći do samozapaljenja i eksplozije pri neznatnom povećanju temperature. Natrijev peroksid (Na_2O_2) je kruta tvar i jak oksidans. U smjesi je s gorivim je eksplozivan, a lako je zapaljiv u kontaktu s malim količinama vode. Kalijev permanganat (KMnO_4) je kristalinična tvar crvenkaste boje i jak oksidans. Potpomaže samozapaljenje gorivih tvari: na sobnoj temperaturi dolazi do samozapaljenja glicerina u dodiru s prahom kalijeva permanganata. Dušična kiselina (HNO_3) je negoriva bezbojna nagrizajuća tekućina te vrlo jak oksidans. U kontaktu s mnogim gorivim tvarima izaziva njihovo samozapaljenje. Smjesa kalijevog klorata i šećera uz dodatak nekoliko kapi sumporne kiseline dovest će do intenzivnog požara gorivog materijala.[3]

2.4. Samozapaljenje ugljena

Skлонost samozapaljenju ugljena ovisi od vrste do vrste, a ovisi o količini vlage, kemijskom sastavu, stupnju usitnjenosti te mjestu i načinu uskladištenja. Samozapaljenju su sklonije slabije vrste ugljena (npr. lignit i treset) jer u masi sadrže veće količine isparljivih plinovitih ugljikovodika, sumpora i sumpornih spojeva. Samozapaljenje ugljena se može objasniti u nekoliko teorija, a to su: bakterijska teorija i teorija adsorpcije kisika. Teorija adsorpcije kisika je najprihvatljivija, a temelji se na egzotermnoj adsorpciji kisika iz zraka pod povoljnim katalitičkim djelovanjem vlage, pri čemu se oslobađa toplina. Masa ugljena ili dio gdje je došlo do reakcije, zagrijava se i ubrzava oksidaciju te potiče proces daljnje egzotermne oksidacije ugljika i ugljikovodika, što dalje oslobađa novu količinu toplinske energije. Na proces djeluju još i željezo, mangan te drugi metali prisutni u malim količinama u ugljenu, a na proces djeluju katalitički. Završni rezultat je povišenje temperature na 400 do 500°C i samozapaljenje mase. Zbog oksidacije ugljena dolazi do stvaranja raznih kemijskih spojeva uz prisutnost željeza i sumpora. Tako nastali sumporni dioksid s vodom daje esumpornu kiselinu koja reagira sa željezom i ostalim metalima koji su prisutni u ugljenu. Samozapaljenje ugljena posljedica je kombinacije fizikalnih i kemijskih promjena. Preko svoje površine ugljen apsorbira plinove iz okoline, a posebno neposredno nakon vađenja. Pri ovim promjenama dolazi do promjene boje ugljena, pojave intenzivnog mirisa i gubitka sjaja. Kada temperature u unutrašnjosti mase poraste do vrijednosti od 400 do 500°C, proces

oksidacije je tada najintenzivniji te tada započinje proces gorenja. Važan čimbenik koji utječe na samozapaljenje ugljena je količina vlage. Manja količina vlage omogućava česticama ugljena da intenzivnije apsorbiraju kisik, a kod većeg postotka vlage taj proces je otežan. Razlog otežanom procesu kod većeg postotka vlage je taj što je sloj kojim je vode kojim je prekriven ugljen prepreka apsorpciji te time usporava oksidaciju. Što je temperatura ugljena viša i komadi ugljena sitniji to je stupanj oksidacije veći.[3]

2.5. Samozapaljenje uzrokovano egzotermnim kemijskim reakcijama

Poznate su kemijske tvari koje u dodiru sa zrakom ili s vodom počinju gorjeti, ali je i veliki broj tvari koje u međusobnoj reakciji ili djelovanjem na gorivi materijal daju dovoljnu količinu energije kako bi mogao započeti proces gorenja. Neki od primjera su: tvari koje se pale u dodiru s vodom, tvari koje se pale u dodiru sa zrakom te ostale kemijske reakcije.

Tvari prilikom kontakta s vodom dovode do stvaranja zapaljivih i eksplozivnih plinova koji se pale toplinom oslobođenom prilikom kemijske reakcije. Reakcije su često vrlo burne i mogu dovesti do eksplozije. U tu skupinu spadaju: alkalni metali, karbidi kalcija, hidridi alkalnih i zemnoalkalnih metala, itd. Dobar primjer je reakcija elementarnog natrija s vodom ili vlagom iz zraka, pri čemu se oslobađa plin vodik (H₂) i natrijev hidroksid (NaOH).



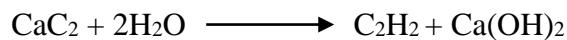
Reakcija je egzotermna, a od oslobođene topline plinoviti vodik se zapali i izgara plamenom. Ubačeni komad natrija (Na) u plamenu “juri” po površini vode. Natrij je srebrnastobijeli meki metal, a zagrijavanjem na zraku se lako zapali (temperature gorenja je oko 900°C). Djelovanje natrija s vodom, razrijeđenim kiselinama ili organskim spojevima najčešće se događa uz eksploziju.

Tvari koje se pale u dodiru sa zrakom, bijeli fosfor se pali u reakciji s kisikom iz zraka te prelazi u plin fosfor (V) oksid (P₂O₅, fosforni pentoksid). Fosforni pentoksid je vrlo otrovan i opasan, ne otapa se u vodi te zbog te pogodnosti i činjenice da na zraku počinje odmah gorjeti čuva se otopljen u posudi s vodom.



Vrlo dobro se otapa u ugljičnom disulfidu (CS_2), a tako pripremljena otopina razlivena po površini gorivog materijala vrlo brzo dovodi do požara. Ugljični disulfid je lakohlapiva tekućina koja brzo ispari te nakon toga ostaje čisti bijeli fosfor koji odmah kemijski reagira s kisikom iz zraka uz pojavu plamena. Pri tom gorivi materijal vrlo brzo prihvati plamen izgaranja fosfora.

Ostale kemijske reakcije su raznovrsne, a neke od njih vidljive su u daljnjem tekstu. Kalcijev karbid u reakciji s vodom oslobađa plin etin (acetilen) koji je u metalurgiji poznat kao medij koji se koristi za rezanje i autogeno zavarivanje metala.

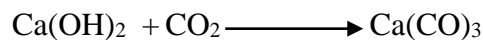


Kemijskom reakcijom s vodom dolazi do intenzivnog stvaranja plina. U slučaju oslobađanja plina u zatvorenom prostoru postoji mogućnost zapaljenja i eksplozije. Acetilen (C_2H_2) je plin bez boje i mirisa, a gori sa zrakom svijetlim plamenom. Vrlo brzo oblikuje eksplozivne smjese, a reagira eksplozivno kada se tlači na dvije ili više atmosfera.

Za kemijski spoj kalcijev oksid ili živo vapno (CaO) u kemijskoj reakciji s vodom daje kalcijev hidroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Pri reakciji se oslobađa energija, tj. reakcija je egzotermna te može zagrijavati cijeli sustav do $400\text{ }^\circ\text{C}$. U prisutnosti lakozapaljivog gorivog materijala moguće je njegovo zapaljenje.



Stajanjem na zraku kalcijev hidroksid privlači an sebe plin ugljični dioksid (CO_2) i prelazi u kalcijev karbonat (CaCO_3).



Papir, strugotina i druge gorive tvari zapalit će se djelovanjem 65% otopine vodikovog peroksida (H_2O_2), koji je vrlo jak oksidans. Djelovanjem nitratne ili dušične kiseline (HNO_3), sumporne ili sulfatne kiseline te nekog drugog jakog oksidansa na papir (jako gorivi material) dolazi do značajnog povećanja sklonosti samozapaljenju. Dušična kiselina (HNO_3) je negoriva bezbojna nagrizajuća tekućina koja je vrlo jak oksidans te u kontaktu s mnogim gorivim tvarima (npr. drvena prašina, slama, itd.) izaziva njihovo samozapaljenje. Djelovanjem sumporne kiseline na organske tvari dolazi do burnih kemijskih reakcija uz oslobađanje topline dovoljne da se cijeli sustav odmah zapali.[3]

Termitna smjesa je smjesa željeznog oksida i aluminijskog praha, a prilikom gorenja se stvara visoka temperatura. Koristi se u tehnici topljenja metala, a topljenje se može prouzrokovati prskalicom. Prema tragovima taljenja i termičkih destrukcija na metalnim dijelovima zankovi su kako je bila zastupljena visoka temperature gorenja (300°C).[3]

Peroksidi su nestabilne, eksplozivne, opasne i zapaljive tvari. Njihovo raspadanje je egzotermno, a ako je veća masa može dovesti do eksplozivnog raspada. Peroksidi su oksidansi te u kontaktu s lakozapaljivim tvarima može doći do zapaljenja. Peroksidi se u većini slučajeva zapale od iskre, plamena šibice te sličnih izvora paljenja, a izgore velikom brzinom.

Perklorna kiselina (HClO_4) je bezbojna tekućina te vrlo jak oksidans. Bezvodna kiselina je nestabilna, eksplozivna i opasna tekućina koja se raspada uz eksploziju. Trgovačka perklorna kiselina (70-72 %) u dodiru s većinom organskih tvari može izazvati eksploziju ili samozapaljenje. Natrijev klorat (NaClO_3) je bijela, kristalinična, negoriva i eksplozivno opasna tvar te vrlo jak oksidans. Vrlo je nestabilan, a pri zagrijavanju ili trenju raspada se uz izlučivanje kisika, a raspad može biti eksplozivan. Zbog smjese s gorivim tvarima može doći do zapaljenja ili eksplozije pri neznatnom povećanju temperature. Natrijev peroksid (Na_2O_2) je kurta tvar i jak oksidans, a u smjesi s gorivim tvarima je vrlo eksplozivan. Lako se zapali u dodiru s malom količinom vode. Kalijev permanganat (KMnO_4) je kristalinična tvar crvenkaste boje te jak oksidans. Potpomaže samozapaljenju gorivih tvari pa na sobnoj temperaturi dolazi do samozapaljenja glicerina u dodiru s prahom kalijeva permanganata. Dušična kiselina (HNO_3) je negoriva, bezbojna nagrizajuća tekućina te vrlo jak oksidans. U kontaktu s većinom gorivih tvari izaziva njihovo samozapaljenje. Smjesa kalijevog klorata i šećera uz dodavanje nekoliko kapi sumporne kiseline dovodi do intenzivnog požara gorivog materijala.[3]

3. Izvori paljenja

Ako zapaljiva tvar nije zagrijana do temperature zapaljenja ona se neće zapaliti. Ako se tijekom procesa gorenja zapaljenoj tvari snizi temperature ispod temperature paljenja zapaljiva tvar će se ugasi. Temperature paljenja je najniža temperature do koje treba zagrijati neku tvar da ona započne gorjeti, tj. da se počne brzo spajati s kisikom.

Gorenje je intenzivnije i burnije ako je postotak koji je prisutan veći, dok gorenje prestaje ako se postotak prisutnog kisika smanji ispod 16%. Pod izvorima paljenja podrazumijeva se sve što može stvoriti energiju koja se može dati okolnoj sredini kao što su: zagrijane površine, plamen, iskre mehaničkog porijekla, iskre električnog porijekla i ostali izvori paljenja.

Zagrijane površine u svakodnevnom životu okružuju sviju (npr. termički, mehanički i električni uređaji, itd.). Navedeni uređaji zagrijavaju se u toku rada uslijed opterećenja, a neke površine se zagrijavaju sunčevim zrakama. Svako čvrsto tijelo koje je zagrijano do određene temperature može biti izvor paljenja. U normalnim uvjetima rada i pravilnim rukovanjem ne može doći do izvora paljenja, ali nepažnja, neispravnost, nepravilno rukovanje može dovesti do paljenja. Kuhala, štednjaci, glačala, i sl. su neki od primjera uređaja koji pri normalnom radu proizvode normalnu temperature i topline. Ali isto tako mogu se ugrijati na temperature paljenja zapaljivih materijala pa se smatraju izvorima paljenja. Televizor, glazbena linija, računalo i sl. u normalnim uvjetima nisu izvor paljenja, ali to lako postaju u slučaju kvara.

Plamen je izvor topline koji se najlakše uočava te privlači pažnju. Plamen nije često uzročnik požatra nego prividno bezopasni izvori paljenja. Plamen je najopasniji na mjestima na kojima se pojavi zapaljiva plinska smjesa. Iskre mehaničkog porijekla nastaju kao posljedica trenja i udara. Kod trenja i udara mehanički rad se pretvara u topline. Kod materijala koji su skloni iskrenju (npr. čelik) lokalno zagrijavanje uslijed trenja i udara je toliko veliko da dolazi do trganja sitnih dijelova materije. Sitni dijelovi materije imaju dovoljno visoku temperature da mogu izazvati paljenje zapaljivih materija. Kod čelika temperature iskre prelazi temperaturu od 1850°C. Najčešći uzrok iskri je bušenje i rezanje, a iskrenje može izazvati i korištenje obuće s potkovicama, udar čeličnog alata u beton ili kamen, trenje pijeska, itd. Mehaničke iskre kao izvor paljenja su vrlo opasne, a pogotovo uprisustvu plinovitih smjesa.

1. Iskre električnog porijekla su iskre izazvane djelovanjem statičkog elektriciteta jednosmjerne ili naizmjenične struje. Posebno zanimljiv je statički elektricitet zbog svoje nepredvidivosti i zbog toga što nastaje izvan električnih instalacija. Neki od naboja statičkog elektriciteta nastaju pri nekima od navedenih procesa:

- trenjem dva tijela izolirana od zemlje,
- kidanjem kontakata između dva tijela (jedan provodnik, a drugi izolator ili obja izolatora),
- influencom (naelektirizirano tijelo se približava drugom neutralnom tijelu te će se naelektrizirati nabojem suprotnog znaka).[1]

Iskra koju proizvodi električna struja može se podijeliti u dvije skupine:

- iskre koje nastaju pri normalnom radu (npr. uključivanje i isključivanje električnih uređaja, električno zavarivanje, iskre na kolektoru jednosmjernog motora, itd.),
- iskre koje nastaju pri oštećenju električnih uređaja i instalacija (opasnije jer su nepredvidive).

Statični elektricitet kod vozila s gumenim kotačima vrlo je opasan pri prijevozu zapaljivih materijala. Pri suhom vremenu gume se nabijaju statičnim elektricitetom kotrljanjem guma po putu i trenjem karoserije vozila sa zrakom.[1]

2. Ostali izvori paljenja odnose se na prirodne sile i pojave koje mogu izazvati požar, kao što su: pražnjenje atmosferskog elektriciteta, potresi, toplinsko djelovanje sunca te radijacija.[1]

Navedene pojave se događaju neovisno od volje čovjeka. Jedini izuzetak je radijacija, koja kao uzrok paljenja do sada nije dovoljno ispitana da bi se o njoj moglo govoriti. Uz vanjske izvore paljenja postizanje temperature paljenja kod nekih gorivih tvari može se postići kemijskom reakcijom. Kada dvije tvari međusobno kemijski reagiraju razvija se određena količina topline te se takve reakcije nazivaju egzotermnim reakcijama. Zapaljive tvari se zagriju i iznad temperature zapaljenja te dolazi do gorenja. Kada se kod kemijske reakcije pojedine tvari same od sebe zapale naziva se samozapaljenje. Kod tekućina ta se temperatura odnosi na pare tekućina. Razlog tomu je taj što je temperatura samozapaljenja u većini slučajeva viša od vrelišta tekućina. Takav oblik pripaljivanja se naziva termičko pripaljivanje.

3. VATROGASNA INTERVENCIJA

U ovom dijelu rada opisan je primjer požara zapaljivih plinova koji se dogodio na postrojenju Industrije nafte (INA). Vrijeme dojave o požaru je bilo 24. 06. 2016. godine u 14:35 sati te je u isto vrijeme izvršeno i uzbunjivanje. Izlazak iz vatrogasne postaje bio je u 14:37, a na mjestu događaja vatrogasna postrojba je bila u 14:45 sati. Požar je lokaliziran u 15:26, a završetak rada intervencije je bio u 16:57 sati. Povratak u vatrogasnu postaju je bio u 17:05 sati te je konačni završetak intervencije bio u 17:10. Dojavljeno je da je došlo do požara u “INA”, točnije na skladištu gdje su se nalazile boce plina za potrebe kućanstva. Zaposlenik je telefonom javio JVP-i kako je došlo do požara. Došlo je do zapaljenja butan-propan plina koji je izlazio iz skladištenih boca. Nakon toga je došlo do razvijanja požara. Događaj se odvijao u vrijeme radnog vremena. U gašenju požara su sudjelovala tri vatrogasna vozila: navalno vatrogasno vozilo, autocisterna, kemijsko vozilo za gašenje pjennom. U gašenju požara sudjelovala je Javna vatrogasna postrojba Grada Zagreba.

3.1. Opis intervencije

Dolaskom vatrogasaca JVP Zagreb na mjesto intervencije “INA” utvrđeno je da je uzrok požara neispravan ventil na boci. Struja se odmah isključila te nije bilo ugroženih i stradalih ljudi. Sredstvo za gašenje požara bila je voda i poluteška pjena. Vrsta intervencije je bila unutarnja navala. Završetkom rada na intervenciji spremaju se potrebni aparati i pomagala te se vatrogasci vraćaju u postrojbu te se naknadno nadgleda proctor oko plinske boce kako ne bi ponovno došlo do izbijanja požara.



Sl. 3. Vatrogasci na intervenciji[8]

4. ZAKLJUČCI

Čovjek je svaki dan izložen mogućnosti nastanka požara, bilo to njegovom krivnjom, slučajno ili namjerno pa čak i mali znakom nepažnje ili brzopletosti može doći do velikih štetat i gubitaka, materijalnih i nematerijalnih. Na neka zapaljenja se može djelovati na vrijeme, a na neka ne. Neka zapaljenja mogu, trajati tjednima, mjesecima, a manifestirati se u tolikoj mjeri da ih je nemoguće spriječiti (npr. gorenje sijena). Do nastanka zapaljenja može doći zbog instalacijskih kvarova, zbog nepravilnog uskladištenja, zbog ne brige o uvjetima, tj. količini zraka, temperaturi i sl. Nažalost osim samozapaljenja i zapaljenja može doći i do jakih eksplozija, koje osim materijalnih uništenja, ljudskih žrtava, itd. dovode i do onečišćenja okoliša, zraka, vode te su posljedice dugotrajne i loše. Ljudi često zbog svog ne znanja i krivog djelovanja mogu dovesti do širenja požara i nastanka eksplozije. Vrlo važno je znati kako postupiti u slučaju nastanka požara te djelovati hladne glave kako ne bi došlo do širenja istog. Ponekad je važno prepoznati situaciju i udaljiti se, a ne pokušati djelovati jer ponekad nema rješenja i mogućnosti spasa određene imovine, zbog velike brzine širenja požara i vrsti zapaljivog materijala. Postoji situacija da požar i nije opasan, ali se u blizini nalazi nešto čijim se miješanjem požar može raširiti (npr. gorivo, zapaljiva ulja, masti, itd.), tada se najbolje udaljiti i ne djelovati do dolaska vatrogasaca. Pravilno rukovanje, skladištenje, odgovarajuća zaštita mogu spriječiti nastanak zapaljenja i samozapaljenja te spriječiti mnoge štete.

5. LITERATURA

1. Ivančić, Z. i Kirin, S. (2010). *Izvori požarne opasnosti*. Veleučilište u Karlovcu. Karlovac.
2. Karlović, V. (2002). *Procesi gorenja i gašenja*. Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske. Zagreb.
3. Pačelat, R. i Zorić, Z. (2003). *Istraživanje uzroka požara*. Zirs. Zagreb.
4. Repozitorij VUKA. <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:109/preview>, pristupljeno 17. 6. 2018.
5. Hrvatski nogometni savez. <http://hns-cff.hr/files/documents/5649/ZOP%20-%20prezentacija.pdf>, pristupljeno 17. 6. 2018.
6. Vatrogasci Opatija. <https://www.vatrogasci-opatija.hr/wp-content/uploads/2018/06/Gorenje-i-ga%C5%A1enje-JVP-Opatija.pdf>, pristupljeno 18. 6. 2018.
7. Preventa. Centar za integralnu sigurnost d.o.o. <http://www.zastitanaradu.eu/component/k2/item/649-plamiste-zapaljive-tekucine.html>, pristupljeno 18. 6 2018.
8. Hrvatski portal za vatrogastvo i druge žurne službe. <http://vatrogastvo.hr/izbjegnuta-katastrofa-na-jarunu-sokantne-slike-vatrogasaca/>, pristupljeno 3. 9. 2019.

6. PRILOZI

6.3. Popis simbola

°C – stupanj Celzijev

g – gram

DGE – donja granica eksplozivnosti

GGE – gornja granica eksplozivnosti

INA – Industrija nafte

Itd. – i tako dalje

JVP – javna vatrogasna postrojba

Kg – kilogram

Na - natrij

Npr. – na primjer

Q – toplina

Sl. – slično

Vol – volumen

% - postotak

6.4. Popis slika

Sl. 1. Požarni trokut[1]	3
Sl. 2. Požarni tetraedar[4].....	4
Sl. 3. Vatrogasci na intervenciji[8].....	27

6.5. Popis tablica

Tablica 1. Granice eksplozivnosti i stehiometrijske smjese nekih zapaljivih plinova.[3].....	7
Tablica 2. Područje vrenja nekih tekućih goriva.[3]	9
Tablica 3. Granice eksplozivnosti i stehiometrijske smjese zapaljivih para (vol %).[3].....	11
Tablica 4. Vrijednost temperature gorenja za neke vrste drveta. [3].....	13