

# MOGUĆI PREVENCIJSKI PROPUSTI I ISTRAŽNO ZNAKOVITI TRAGOVI NAČINA NASTANKA I UZROKA POŽARA I/ILI EKSPLOZIJA U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

---

Ostović, Andrej

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2022

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:128:605168>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-01-29**



**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  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Andrej Ostović

**MOGUĆI PREVENCIJSKI PROPUSTI I  
ISTRAŽNO ZNAKOVITI TRAGOVI NAČINA  
NASTANKA I UZROKA POŽARA I/ILI  
EKSPLOZIJA U ŽELJEZNIČKOM PROMETU**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

ANDREJ OSTOVIĆ

**POSSIBLE PREVENTIVE FAILURES AND  
INVESTIGATIVE SIGNS OF THE WAY OF  
OCCURRENCE AND CAUSE OF FIRE  
AND/OR EXPLOSION IN RAILWAY  
TRAFFIC**

Final paper

Karlovac, 2022

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

Andrej Ostović

**MOGUĆI PREVENCIJSKI PROPUSTI I  
ISTRAŽNO ZNAKOVITI TRAGOV I NAČINA  
NASTANKA I UZROKA POŽARA I/ILI  
EKSPLOZIJA U ŽELJEZNIČKOM PROMETU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Karlovac, 2022.



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

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Specijalistički studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara.

Karlovac, 2022.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Andrej Ostović

Matični broj: 0420418042

Naslov: Mogući preventivski propusti i istražno znakoviti tragovi načina nastanka i uzroka požara i/ili eksplozija u željezničkom prometu.

Opis zadatka: Zadatak završnog rada je istražiti sprječavanje propusta u istraživanju požara i eksplozija u željezničkom prometu. Također će biti opisano djelovanje vatrogasaca na intervencijama vatrogasaca takve vrste, te detalji koji se mogu vidjeti pri dolasku na intervenciju takvog tipa. Rad prikazuje određene mjere koje je potrebno poduzeti kako bi se spriječili požari i eksplozije, isto tako cilj je prikazati i istražno znakovite tragove načina nastanka i uzroka požara ili eksplozija u željezničkom prometu.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Travanj, 2021.

Ožujak 2022.

Ožujak 2022.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

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

dr.sc. Zvonimir Matusinović, v.pred.

## PREDGOVOR I ZAHVALE

U dosadašnjoj karijeri kao profesionalni vatrogasac mnogo puta sam se susreo sa požarima u željezničkom prometu. Kako u prometu od požara zapaljive materije i dr. tako i sa prostorom oko željezničke pruge, brojni požari trave i niskog raslinja. Takav jedan primjer obradio sam i u eksperimentalnom dijelu ovog rada.

U radu sam pokušao objasniti taktičke postupke vatrogasne postrojbe pri dolasku na takvu vrstu intervencije, postupke pri gašenju prijevoznih sredstava u ovom slučaju vlak.

Želio bih se zahvaliti svojoj obitelji na velikoj podršci pri studiranju, velika zahvala svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu, a posebno svojoj mentorici Lidiji Jakšić, mag.ing.cheming., na velikom strpljenju i pomoći pri pisanju ovog završnog rada.

## SAŽETAK

U radu je prikazana problematika zaštite od požara i eksplozija u željezničkom prometu te mjere koje je potrebno provoditi kako bi se spriječio nastanak neželjenih događaja. Kroz rad su prikazani i mogući preventivski propusti te istražno znakoviti tragovi načina nastanka i uzroka požara ili eksplozija u željezničkom prometu. Također su prikazana i djelovanja vatrogasaca pri vatrogasnim intervencijama takve vrste.

**Ključne riječi:** željeznički promet, požar, eksplozija, prevencija, uzrok nastanka požara, uzrok nastanka eksplozije

## SUMMARY

The paper presents the issue of fire and explosion protection in railway transport and the measures that need to be implemented in order to prevent the occurrence of adverse events. The paper also presents possible preventive omissions and investigatively significant traces of the manner of occurrence and causes of fires or explosions in railway traffic. The actions of firefighters during firefighting interventions of this kind are also shown.

**Key words:** railway traffic, fire, explosion, prevention, cause of fire, cause of explosion



# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
PREDGOVOR I ZAHVALE.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY.....	IV
1. UVOD.....	1
1.1. Predmet i cilj rada.....	1
1.2. Metode istraživanja.....	2
2. ŽELJEZNIČKI PROMET.....	3
2.1. Povijesni razvoj željezničkog prometa.....	4
2.2. Vrste željezničkog prometa.....	6
2.3. Opasnosti u željezničkom prometu.....	6
2.2. Opasnosti od požara i eksplozija u željezničkom prometu.....	6
3. POŽAR.....	9
4. EKSPLOZIJA.....	17
5. PREVENCIJSKI PROPUSTI I UZROCI POŽARA I EKSPLOZIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU.....	20
6. PREVENCIJE POŽARA I EKSPLOZIJA U ŽELJEZNIČKOM PROMETU.....	32
6.1. Mjere prevencije.....	35
6.2. Gašenje požara.....	38
7. ZAKLJUČAK.....	40
8. POPIS LITERATURE.....	41
9. POPIS SLIKA.....	43
10. POPIS TABLICA.....	44

# 1. UVOD

Željeznički promet je jedan od najstarijih prijevoza robe i putnika. Razvitkom tehnologije neki vlakovi mogu dosegnuti čak i do 350 km/h što povećava korištenje takvog načina transporta u današnjem „užurbanom“ svijetu [1].

Iako tehnologija unaprjeđuje način transporta ona u potpunosti ne sprječava nesreće, pa tako niti požare. Mjerama zaštite od požara i eksplozija može se pridonijeti sprječavanju požara te njihovom brzo gašenju.

Opasnost od požara prisutne su posvuda. Izvori paljenja su otvoreni plamen, trenje, vođenje topline, iskra, električni luk, isijavanje i dr. Svaki zaposleni radnik treba biti dobro upoznat sa svim mogućim opasnostima i izvorima nastanka požara te načinom njegovog sprečavanja i gašenja.

Gorenje je kontrolirani proces, međutim kada gorenje izmakne kontroli tada se govori o požaru. Osnovna kemijska pojava koja sudjeluje u požarima je proces sagorijevanja, koji predstavlja kemijsku reakciju uz oslobađanje topline i svjetlosti.

Zaštita od požara obuhvaća skup aktivnosti čiji je cilj smanjenje rizika nastanka požara, odnosno brzo i kvalitetno gašenje požara ako do istog dođe. Pri tome je potrebno osigurati ispravno funkcioniranje sustava za detekciju i dojavu požara te sustava za gašenje požara. Potrebno je definirati sve radnje koje je potrebno poduzeti u slučaju nastanka požara.

## 1.1. Predmet i cilj rada

Najčešći uzrok požara ili eksplozije je ljudska nemarnost i zato je pravilna edukacija vrlo bitna, pogotovo ako može doći do ljudskih žrtava. Osim poznavanja mjera zaštite od požara bitno je kako reagirati kada se dogodi požar. Pravodobnom reakcijom i dojavom možemo smanjiti širenje požara ili ga potpuno otkloniti. Pravilnom izgradnjom željezničkih građevina, vozila i infrastrukture te pravilnom primjenom i održavanjem istih uvelike sprječava nastanak požara.

U ovom završnom radu nastoje se prikazati mogući preventivski propusti i istražno znakoviti tragovi načina nastanka i uzroka požara ili eksplozija u željezničkom prometu.

## **1.2. Metode istraživanja**

Prilikom izrade ovog diplomskog rada korištene su primarne metode istraživanja putem pregleda dostupne znanstvene i stručne literature, s područja prevencije, preventivskih propusta i uzroka požara ili eksplozija u željezničkom prometu.

## 2. ŽELJEZNIČKI PROMET

Željeznički promet je uz promet na unutarnjim plovnim putovima jedan od ekonomski i ekološki najprihvatljiviji oblik prijevoza održiv na dugi rok. Željeznica kao takav oblik transporta odvija se i svrstava se u kopneni promet jer se odvija određenim linijama odnosno prugama po kopnenoj površini.

Bitne komponente željezničkog prometa su tračnice odnosno, pruge i sama željeznička vozila koja se koriste za prijevoz. Željeznički promet smatra se jednim od najstarijih oblika modernog prijevoza [1].

Sam početak, razvoja i nastanka željezničkog prometa smatra se 19. stoljeće u Engleskoj, odnosno kad je Stephenson, 1825. godine, konstruirao prvu parnu lokomotivu. Iste godine Stephensonova lokomotiva je isprobana na relaciji Stockton–Darlington, pa onda se to smatra i prvom željezničkom relacijom. Željeznički promet kao takav najviše se razvija paralelno s počecima i napredovanjem industrijske revolucije, pa tako i danas u svijetu željeznički promet se jako brzo razvija.

Današnja suvremena željeznica je jedan od vodećih svjetskih oblika robnog kopnenog prometa, ali i vrlo je bitna u prijevozu putnika. Karakteristika koja je vrlo bitna za željeznicu danas je njezino postojanje u organizacijskom smislu, odnosno njezina sposobnost prilagođavanja suvremenim zahtjevima koji su stavljeni pred nju [2].

Željeznički promet brzo korača prema budućnosti, pa njegov razvoj i uvođenje novih oblika tehnologija unaprjeđuje njegovo položaj kada su u pitanju drugi oblici i načini prijevoza. Jedan od koraka prema budućnosti je razvoj i uvođenje željezničkih autonomnih vozila čiji razvoj provode uglavnom države koje imaju vrlo visoki stupanj razvijene željezničke mreže, infrastrukture i vozila.

U Hrvatskoj danas željeznički promet uvelike zaostaje za drugim državama članicama Europske Unije, a glavni razlog je višegodišnje odnosno moglo bi se reći čak i više stoljetno nedovoljno ulaganje u razvoj željezničkog prometa [2].

## 2.1. Povijesni razvoj željezničkog prometa

Početak suvremenog razvoja željezničkog prometa danas se smatra uvođenje parne lokomotive, no željeznički promet javlja se znatno prije razvoja parne lokomotive. Promet tračnicama javlja se još 1550-ih godina u Njemačkoj. Prve tračnice bile su od drveta, a vagoni su vučeni konji ili volovi. Početkom 18. stoljeća drvene tračnice su zamijenjene željeznim. Pod kraj 18. stoljeća engleski inženjer William Jessop dizajnirao je tračnice po kojima su vozili vagoni s kotačima koji su posjedovali utore, pa su mogli nesmetano prometovati takvim oblicima tračnica. Jedan od presudnih izuma razvoja i napredak željeznice kakvu danas poznajemo je izum parnog stroja Jamesa Watta. Prvu parnu lokomotivu konstruirao je Richard Trevithick, a njegova lokomotiva bila je teška 5 tona, a mogla je povući i prevoziti teret težine 20 tona, brzinom 5 km/h [2].

Ovaj oblik lokomotive je puštena u promet 13.02.1804. godine, a njezina primjena uglavnom je bila za prijevoz željezne rude u Walesu. Zbog velike težine samih željezničkih vozila i vagona dolazilo je do čestih pucanja tračnica i iskakanja vlakova iz tračnica, stoga ovaj oblik projekta je doživio veliki financijski neuspjeh. William Hedkey je 1813. godine konstruirao prvu lokomotivu sa četiri kotača što se isto pokazalo kao neuspjeh, nedugo zatim toga 1815. godine konstruirao lokomotivu sa osam kotača. George Stephenson je 1821. godine uvjerio rukovodeće ljude u rudnicima da se u rudnicima počine koristiti parna lokomotiva za prijevoz željezne rude, jer bi se jednim prijevoznim procesom moglo prevesti 50 puta više željezne rude nego prije. On uvodi neke inovacije u željeznička vozila kao što su klipovi, cilindri i kotači s utorima koji su omogućili da se izbjegne i smanji iskakanje vlakova iz tračnica što je u onom razdoblju bila česta pojava. Počeci suvremenog željezničkog prometa smatra se 1825. godina. [2].

Godina kada je između Stocktona i Dralingtona puštena prva željeznička relacija. Tadašnja težina lokomotive je iznosila 8 tona, a bila je u mogućnosti prevesti teret od 50 tona sa brzinom od 5 km/h. Iako je početak razvoja suvremenog željezničkog prometa započeo u Velikoj Britaniji uskoro i druge države započinju sa razvojem i unapređivanjem suvremenog željezničkog prometa. Prva moderna željeznička pruga u SAD-u bila je između Baltimorea i Ohia, a tamo su prometovala uglavnom lokomotive na parni pogon. Prvi vlakovi na električni pogon javljaju se u SAD-u 1888.

godine, a prva električna lokomotiva puštena je u promet 1892.godine na Coney Islandu. Krajem 2.sv.rata u pogon se u svim suvremenim državama puštaju lokomotive na dizel i električni pogon [2].

Povijest željezničkog prometa u Republici Hrvatskoj započinje 1860.godine kada je u promet puštena prva željeznička pruga kojom se prometovalo na relaciji Nagykanizse (Velike Kaniže) u Mađarskoj preko Kotoribe i Čakovca koja vodi do Pragerskoga u Sloveniji te koja svojom dionicom između kolodvora Kotoriba i stajališta Macinec na današnjoj slovensko-hrvatskoj granici prolazi kroz Međimurje.

Izgradnjom te pružne dionice duge 42,4 kilometra, Hrvatska je ostvarila izravnu vezu s tek sagrađenom magistralnom prugom Beč - Trst, a godinu dana poslije i vezu s drugim monarhijskim središtem u Budimpešti. Zbog toga je važnost te pruge bila velika unatoč tomu što je u prikazima željezničke povijesti često bio prešućivan, ali danas se smatra i ima status prve hrvatske pruge [2].

Izgradnji ove pruge pridonijelo je 27.siječnja 1861. godine izdvajanje Međimurja iz Banske Hrvatske i priključivanje Ugarskoj čija je vlast trajala do 1945.godine. Godine 1854. austro-ugarska vlada donijela je novi zakon o željeznicama po kojemu je pruge bilo moguće graditi i privatnim kapitalom, i to na temelju sklapanja ugovora o koncesiji između države i vlasnika kapitala.

U planove za izgradnju sljedeće 32 pruge na temelju koncesijskih ugovora bila je uvrštena i pruga Nagykanizsa - Kotoriba - Čakovec - Poljčane. Ubrzo pošto su se krajem 1857. godine počeli izvoditi prvi radovi na budućoj pruzi između Pragerskoga, Čakovca, Kotoribe i Nagykanizse, car i kralj Franjo Josip I. je sredinom 1858. godine, zbog vrlo velikog nedostatka novca u državnome proračunu Carevine, odobrio prodaju državne pruge privatnim kapitalistima.

Na pružnoj dionici koji su prolazi kroz Hrvatsku bila su sagrađena tri kolodvora, a to je bio kolodvor Čakovec, Kotoriba i Donji Kraljevec. Dvanaest mjeseci prije roka odnosno 29.listopada 1859. godine kroz Međimurje je obavljena prva pokusna vožnja između Čakovca i Kotoribe, a službeno otvaranje za redovni promet željezničke dionice je bilo 1.svibnja 1860. godine [2].

## **2.2. Vrste željezničkog prometa**

Kao što smo prethodno naveli u samom uvodu definiciju željezničkog prometa, pa u nastavku rada поближе ćemo upoznati željeznički promet i njegovu osnovnu podjelu. Organizacija željezničkog prometa može se podijeliti na dvije osnovne komponente, a to su:

- tehnika i
- tehnologija.

Željeznički promet možemo podijeliti na dva osnovna oblika, a to je:

- putnički željeznički promet i
- teretni željeznički promet koji se još naziva cargo željeznički promet.

## **2.3. Opasnosti u željezničkom prometu**

Opasnost ili štetnost je svojstvo ili sposobnost nekog radnog uvjeta mehaničke, fizikalne, kemijske, biološke i psihološke naravi da uzrokuje oštećenje zdravlja, odnosno uništenje ili oštećenje sredstava rada. Opasnosti su:

- mehaničke,
- opasnosti od padova,
- električne struje,
- požara,
- eksplozije,
- termičke opasnosti, koje mogu biti izvor ozljeđivanja radnika i drugih osoba [3].

### **2.2. Opasnosti od požara i eksplozija u željezničkom prometu**

Osnovni uvjeti potrebni za nastanak požara i eksplozije zajednički su pa je stoga moguće lakše razumjeti nastanak i razvoj požara te postupke koje treba poduzeti da do požara ili eksplozije ne dođe ili ako se već pojave kako ih pogasiti sa

što manjim ljudskim i materijalnim gubicima. Najčešći izvori nastanka požara i eksplozije uglavnom su sljedeći:

- otvoreni plamen, iskra i užarena tijela,
- vrući predmeti, instalacije i grijači,
- zapaljenje topline trenja,
- električne instalacije,
- statički elektricitet,
- samoupala,
- prirodne pojave [3].

U tablici 1. prikazani su najčešći izvori požara i temperature koje oni razvijaju.

Tablica 1. Najčešći izvori požara i temperature koje oni razvijaju [4]

Izvori paljenja	Temperatura izvora °C
Opušak	Do 650
Otvoreni plamen	1000-1100
Mehanička iskra	Do 1800
Plinsko zavarivanje	Do 3000
Iskra kod električnog zavarivanja	Do 3600

Gorenje je kemijski proces spajanja neke tvari s kisikom uz popratnu pojavu svjetlosti i topline. Gorenjem se razvija vatra koja se može širiti na više načina.

Sa stajališta opasnosti od požara sve se tvari mogu svrstati u dvije skupine:

- zapaljive ili gorive tvari- one koje se uz prisutnost kisika mogu zapaliti i gorjeti,
- nezapaljive ili negorive tvari- one koje se ne mogu spajati s kisikom [2].

Opasnim tvarima smatraju se takve tvari koje zbog svojih svojstava (otrovnost, zapaljivost, eksplozivnost, korozivnost i sl.) mogu ugroziti zdravlje ili život ljudi, prouzročiti materijalnu štetu ili ugroziti i oštetiti okolinu odnosno tlo, vodu, zrak.

Iako su mnoge opasne tvari opasne kako za čovjeka tako i za njegovu okolinu ne možemo se odreći korištenja takvih tvari jer su one temelj mnogih tehnoloških



procesa i sl. To se posebno odnosi na radnike koji prevoze te tvari kao i postupke za sigurno rukovanje (priprema tvari za prijevoz, utovar, istovar i usputne manipulacije).

Prijevoz opasnih tvari u RH uređuje se Zakonom o prijevozu opasnih tvari, tj. utvrđuju se uvjeti za prijevoz opasnih tvari u svim granama prometa i način poduzimanja pojedinih mjera u svezi s prijevozom.

Uzimajući u obzir brojnost opasnih tvari, raznolikost svojstava, moguća štetna djelovanja, postojanje velikog broja pravila kojima su uređeni postupci sa opasnim radnim tvarima uzeti su u obzir korištenje raznih međunarodnih konvencija kao npr. ADR - europski sporazum o cestovnom prijevozu roba u međunarodnom prometu, željeznički 15 prijevoz – RID, morski prijevoz – SOLAS itd.

Pod pojmom mjera zaštite od požara pri prijevozu opasnih tvari podrazumijevaju se mjere koje treba poduzimati već kod odabira ambalaže, kod pakiranja, kod utovara i istovara te kod prijevoza opasnih tvari. Kod prijevoza opasnih tvari koristi se ploča za označavanje prijevoza opasnih tvari. Opasnosti od požara i eksplozija u željezničkom prijevozu postoje prilikom izdavanja goriva na crpkama u slučaju nepravilnog rukovanja. Također požar mogu izazvati električni dijelovi u vagonima, motornim garniturama i lokomotivama [2]. Slika 1. prikazuje ploču za označavanje prijevoza opasnih tvari.

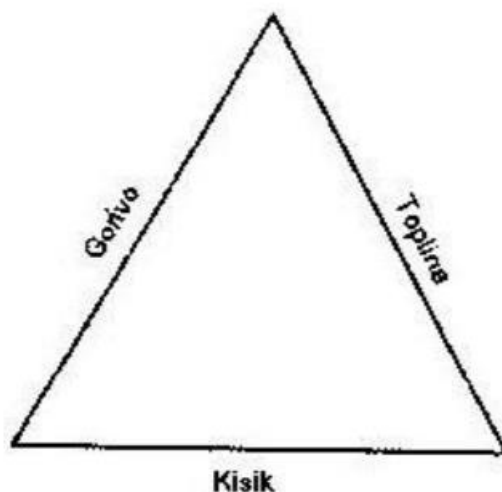


Slika 1. Ploča za označavanje prijevoza opasnih tvari [5]

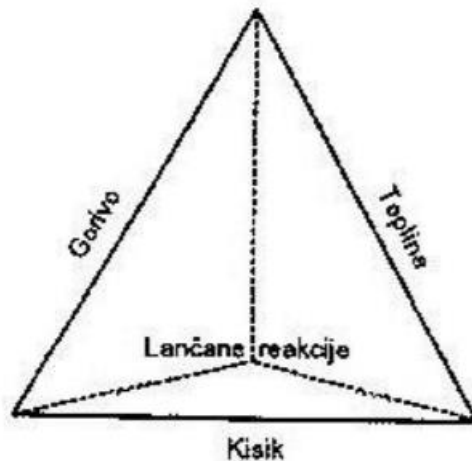
### 3. POŽAR

Gorenje je kemijski proces vezivanja gorive tvari s oksidansom uz oslobađanje topline, toplinske i svjetlosne energije. Razvijanjem visoke temperature od nekoliko stotina do nekoliko tisuća Celzijevih stupnjeva nastaju produkti koji zaostaju na mjestu gorenja ili se raspršuju u okolinu u obliku dima ili plina.

Da bi došlo do gorenja potrebna je goriva tvar može biti plin, krute tvari, pare zapaljivih tekućina, dovoljna količina oksidansa kao što su to primjerice kisik, klor, brom, sumpor, itd., te dovoljna količina izvora energije uz razvijene temperature samopaljenja. Ovaj proces često nazivamo i trokut gorenja (slika 2.). Za nastanak i razvoj požara potreban je i četvrti uvjet, a to je neprekinuto odvijanje lančanih kemijskih reakcija. Prikaz sva četiri uvjeta možemo simbolički prikazati kao tetraedar gorenja što je i prikazano na slici 3.



Slika 2. Trokut gorenja [6]



Slika 3. Tetraedar gorenja [6]

Ukoliko nedostaje bilo koji od prethodno navedenih uvjeta požar ne može nastati, a ukoliko se odstrani bilo koji od navedenih uvjeta požar će se ugasi [6].

Tvar je sve ono što zauzima prostor i posjeduje masu. U prirodi ih možemo naći u tri agregatna stanja:

- krutom,
- tekućem i
- plinovitom.

Raspoznaju se prema njihovim značajkama [6].

- određeni kemijski sastav,
- određenu masu (težinu),
- određeni sadržaj unutarnje i vanjske energije, te da
- zauzimaju određeni prostor (obujam).

Tvari se mogu podijeliti na nezapaljive i zapaljive.

Nezapaljive tvari su one tvari koje se u normalnim uvjetima ne mogu zapaliti (815,6 °C u vremenu od 5 min), a mnoge ni na višim temperaturama (primjerice kao što su voda, kuhinjska sol, beton, kamen, itd.).

Zapaljive tvari se dijele na:

- lako zapaljive tvari koje se mogu zapaliti pod normalnim uvjetima i nakon toga nastaviti gorjeti sve do svog potpunog sagorijevanja (primjerice metan, drvo, magnezij, itd.),
- teško zapaljive tvari koje se pale ili tinjaju u prisustvu plamena, ali nakon uklanjanja plamena prestaju gorjeti (primjerice vuna, PVC, itd.).

Zapaljive tvari mogu biti u tri agregatna stanja, a to su:

- plinovito stanje,
- tekuće stanje,
- kruto stanje [6].

Karakteristika plinova jest da se molekule plina slobodno kreću unutar raspoloživih prostora. Brzina njihovog kretanja povisuje se porastom temperature. Plinovi gore plamenom, a kako bi se zapalili potrebno je da koncentracija plina bude u granicama eksplozivnosti te izvor paljenja.

Tekućine ne gore, nego njihove pare koje nastaju zagrijavanjem istih. Do gorenja će doći ako količina para zapaljive tekućine bude dostatna da se stvori potreban zapaljiv omjer između para i oksidansa.

Gorenje krutih tvari ovisi o njihovom kemijskom sastavu. Razlikuju se:

- gorenje uz pirolizu – zagrijavanjem krutine isparavaju i gori plamenom poput tekućine,
- gorenje uz promjenu agregatnog stanja – zagrijavanjem krutine ona najprije prelazi u tekuće stanje, a zatim iz tekućeg u plinovito stanje koje gori plamenom
- direktno gorenje – krutine koje gore samo žarom bez plamena.

Izvori paljenja gorivih tvari mogu biti:

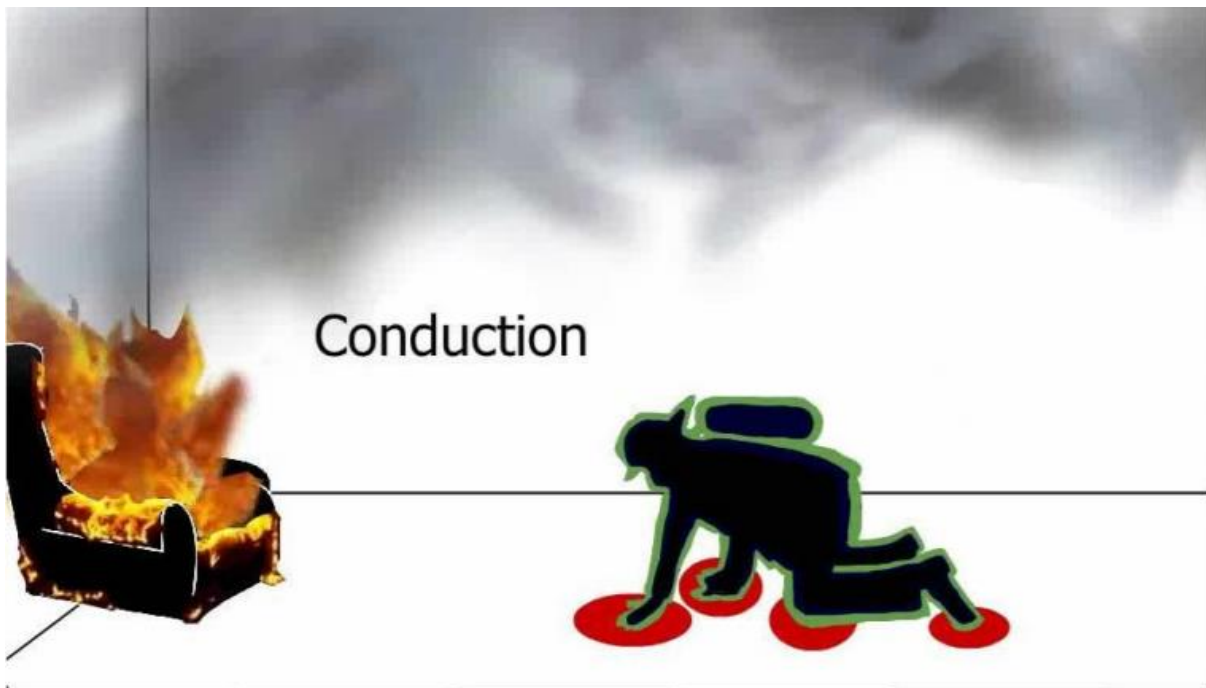
- zagrijane površine (termički uređaji, mehanički i električni uređaji),
- plamen (upaljač),
- iskre mehaničkog porijekla (iskre nastale kao posljedica trenja i udara),
- varnice električnog porijekla (varnice izazvane djelovanjem statičkog elektriciteta),

- druge pojave (potresi, sunce, radijacija, pražnjenje atmosferskog elektriciteta) [6].

Gorenje je kontrolirani proces, međutim kada gorenje izmakne kontroli govorimo o požaru. Osnovna kemijska pojava koja sudjeluje u požarima je proces sagorijevanja, koji predstavlja kemijsku reakciju uz oslobađanje topline i svjetlosti. Toplina vatre se može prenijeti:

- kondukcijom,
- zračenjem,
- konvekcijom.

Kondukcija je prijenos topline kroz kruto tijelo koji se odvija od molekule do molekule duž cijelog tijela. Dio koji izravno izložen toplini bit će nešto topliji od ostatka krutog tijela što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Prijenos topline kondukcijom [7]

Zračenje je prijenos topline nevidljivim elektromagnetskim valovima. Toplina se širi iz vatre preko interventnog prostora i kada dođe u kontakt s tijelom apsorbira se, reflektira ili prenosi, dok je konvekcija prijenos topline gibanjem zapaljive tvari

(primjerice dim vrućeg zraka, leteća žeravica, itd.). Zagrijane molekule tvari izdižu se od ostatka tvari zbog smanjene gustoće [7].

Požar se može podijeliti prema mjestu nastajanja, prema vrsti gorive tvari, prema fazi razvoja te prema vrsti i veličini [7].

Prema mjestu nastajanja razlikuju se:

- požari u zatvorenim prostorima,
- požari na otvorenom prostoru.

Podjela požara prema vrsti gorive tvari prikazana je na slici 6.:

- klasa A (krute tvari, npr. drvo, papir, pamuk i dr.),
- klasa B (tekućine ili rastaljene krutine, npr. benzin, boje, vosak i dr.),
- klasa C (gorivi plinovi, npr. zemni plin, metan i dr.),
- klasa D (požari metala, npr. magnezij, aluminij i dr.),
- klasa F (ulje i masti životinjskog i biljnog podrijetla).

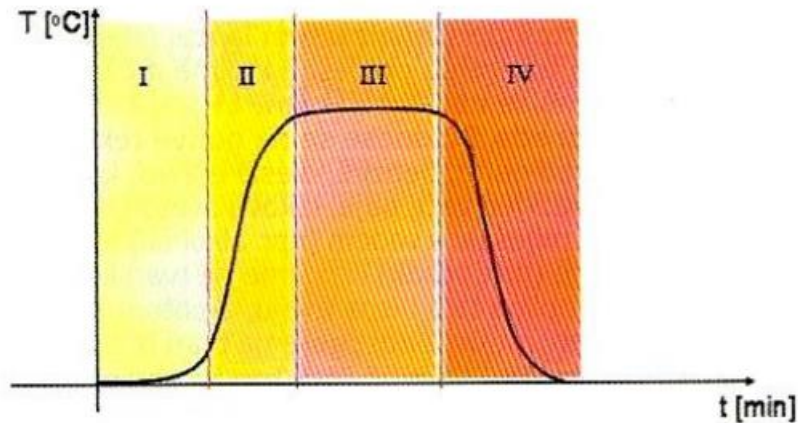


Slika 5. Podjela požara prema vrsti gorive tvari [7]

Podjela požara prema fazi razvoja prikazana je na slici 6:

- početni požar – mali intenzitet izgaranja tvari, relativno niska temperatura, mali prostorni obim vatre,
- faza razvoja – lagani porast temperature u prostoriji,
- razbuktna faza – obuhvaćena velika količina gorive tvari, maksimalna temperatura,

- živo žarište – kada goriva tvar izgori, manja toplina, smanjen intenzitet izgaranja [7].



Slika 6. Faze razvoja požara [7]

Specifične pojave kod razvoja požara su flashover i backdraft.

Flashover je plameni udar zatvorenog ventiliranog prostora koji se događa u fazi između početne i razbuktale faze požara.

Osnovni potrebni uvjeti za njegovo nastajanje su:

- temperatura dima i zapaljivih plinova produkata nepotpunog gorenja pri stropu prostorije treba biti oko 600 °C,
- optimalan dotok svježeg zraka kroz prozore ili vrata. Ako je dotok zraka prevelik ne može se postići temperatura od oko 600 °C, a ako je premali, požar ne gori dovoljno intenzivno.

Predznaci za flashover su [8]:

- ekstremno gusti, vrlo vrući i tamni dim koji naglo izlazi na sve otvore iz kuće ili stana,
- vrlo visoka temperatura u prostoriji koju osjetimo na vratima, prozorima, kvakama, crijepovima ili betonskim pločama, tako visoka temperatura se osjeti čak i preko zaštitne odjeće i rukavica,

- intenzivni plamen koji se javlja iz zadimljene zone i na njenim granicama je znak da će doći do plamenog udara.

Backdraft je plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora koji se događa u fazi između početne i razbuktaleske faze požara. Osnovni potrebni uvjeti za njegovo nastajanje su:

- temperatura plinova mora biti iznad temperature samozapaljenja,
- dolazak kisika nakon postignute temperature.

Predznaci za backdraft su [8]:

- požar dugo traje,
- prostorija je ispunjena dimom, koji na mahove izlazi van,
- ako vatrogasac lagano odškrine vrata, dim ulazi u prostoriju i osjeti se „usisavanje“ zraka u prostoriju,
- kvake na vratima su vruće i osjeti se da je iza vrata puno toplije.

Podjela požara prema vrsti i veličini:

- mali požar – zahvaćena mala količina gorive tvari,
- srednji požar – kada je vatrom zahvaćena jedna ili više prostorija, požari na otvorenom manjih razmjera,
- veliki požar – kada je vatrom zahvaćen cijeli kat, krov objekta, cijeli objekt,
- otvoreni požar koji zahvaća veće površine i veće količine gorive tvari,
- blokovski požari – obuhvaća cijele blokove zgrade, dijelove naselja ili velike komplekse otvorenih skladišta, šumski požari, poljski požari.

Gašenje požara podrazumijeva sve radnje koje je potrebno poduzeti kako bi se požar mogao uspješno obuzdati i savladati. Metode gašenja požara:

- izuzimanje gorive tvari (izolacija),
- ugušivanje,
- hlađenje,
- zaustavljanje lančanih reakcija gorenja.

Sredstva za gašenje požara su tvari koje imaju svojstvo odstranjivanja jednog ili više uvjeta potrebnih za gorenje. Vrste sredstava za gašenje požara:

- voda - ima učinak hlađenja te može primiti velike količine topline.



Raznim dodacima može se sniziti temperaturu vode. Dodavanjem određene tvari dobiva se prodorna voda kojoj je smanjena površinska napetost čime se omogućava da voda prodire dublje u gorivu tvar.

- pjene – imaju djelomice zagušujuće, a djelomice rashlađujuće djelovanje te vrlo dobro gase požare zapaljivih tekućina.

Postoje kemijske pjene (mjehur pjene je ispunjen CO<sub>2</sub>) i zračna pjena (mjehur pjene je ispunjen zrakom).

- prah – ima učinak zagušivanja i hlađenja te ovisno o sastavu može gasiti sve vrste požara.

Kod praha je bitna veličina zrna i turbulentnost kretanja. Neškodljiv je i neotrovan, postojan, dugotrajan i električni izolator. Danas se smatra da ima antikatalitički učinak (prekidajući lančanu reakciju normalnog gorenja).

- ugljični dioksid – ima učinak zagušivanja, a utjecaj hlađenja je neznatan.

Koristi se u zatvorenim prostorima, prilikom gašenja električnih uređaja i postrojenja, prijevoznim sredstvima i dr. U većim količinama je štetan za zdravlje.

- haloni – imaju antikatalitički učinak i koriste se u stabilnim sustavima.

Dobri su za gašenje električnih instalacija i opreme te vojni objekti i sl. Radi štetnosti za ozonski omotač danas izlaze iz uporabe te se zamjenjuju clear agentima (npr. inertni plin, FM 200, NOVEC 1230).

- NOVEC 1230 – plin koji spada u najnoviju generaciju nasljednika halona.

Ima blagi utjecaj na okoliš i ozonski omotač te veliku efikasnost i brzinu pri gašenju požara. Električki je neprovodljiv te je idealan za zaštitu elektroničkih uređaja, muzeja, trezora i sličnih prostora. Uspješno gasi sve vrste požara unutar 10 sekundi, a potpuno je bezopasan za živa bića [8].

## 4. EKSPLOZIJA

Sama eksplozija je kemijski proces vrlo brzog i intenzivnog oslobađanja energije, mjerena u milisekundama uz pojavu velikih količina plinovitih produkata. Eksplozivne tvari imaju fizikalne, kemijske i balističke značajke [9].

Glavne značajke eksplozije su [9]:

- velika brzina izgaranja eksplozivne tvari,
- stvaranje plinova,
- oslobađanje topline.

Ovisno o brzini izgaranja eksplozivnih tvari, mogu se razlikovati [9]:

- obično izgaranje na otvorenom prostoru, gdje je tlak oslobođenih plinova nizak i gdje nema zvučnog efekta eksplozije kao kod crnog baruta koji izgara 3–5 metara u sekundi,
- eksplozivno izgaranje koje nastaje izgaranjem do nekoliko tisuća metara u sekundi, a povećanjem brzine izgaranja, povećavaju se i tlakovi plinova koji nastaju kemijskom reakcijom pošto su brzina izgaranja i tlak plinova proporcionalni,
- detonacijsko izgaranje koje je poseban oblik izgaranja u kojem je brzina izgaranja mnogo veća u odnosu na eksplozivno izgaranje, jer se odvija u prostoru konstantnog volumena.

Inicijalni i brizantni eksplozivi izgaraju detonacijskom brzinom koja iznosi 2500–9000 metara u sekundi. Također ovisi o proporcionalnosti izgaranja i tlaku oslobođenih plinova koja se u ovom procesu odlikuje razornom snagom [10].

Sve se eksplozivne tvari mogu podijeliti prema [10]:

- agregatnom stanju (plinoviti, tekući i čvrsti),
- kemijskom sastavu (kemijski spojevi i kemijske smjese),
- načinu uporabe (inicijalne eksplozije, brizantne eksplozije, pogonske eksplozije i pirotehničke smjese).

Prema načinu uporabe i karakteristikama djelovanja dijele se na [10]:

- inicijalne eksplozive (živin fulminat, olovni azid, tricinat, tetrazen i dr.),

- brizantne eksplozive (TNT, trotil, heksogen, tetril, pentrit i dr.),
- pogonske eksplozive (crni barut, malodimni barut i dr.).

Inicijalni eksplozivi su vrlo osjetljive eksplozivne tvari koje detoniraju i prilikom neznatnog vanjskog impulsa (udarac, trenje i plamen), brzine detonacije do 550 metara u sekundi. U čistom stanju primjenjuju se za punjenje inicijalnih kapsula, detonatorskih kapsula i za izradu detonirajućeg štapina, dok se u smjesama koristi za iniciranje brizantnih ili pogonskih eksploziva (baruti) koji nisu osjetljivi na djelovanje slabijeg udarca ili plamena [11].

Glavna namjena je da u odgovarajućem obliku izazovu pobudu eksplozivnog sredstva, bilo to plamenim impulsom ili eksplozivnim impulsom. Detonatorske kapsule se aktiviraju plamenim impulsom inicijalnih kapsuli, od impulsa sporogorećih i brzogorećih štapina, od električne iskre ili od detonirajućeg štapina [9].

U skupinu brizantnih eksploziva spadaju eksplozivne tvari različitog sastava i različite osjetljivosti na udarac, dok im se brzina detonacije kreće od 2400 do 8400 metara u sekundi. Imaju iznimno veliku razornu moć koja se naziva brizantnost. Koriste se pri izradi eksplozivnog punjenja za [11]:

- pješačko streljivo, ručne i zrakoplovne bombe,
- topničko streljivo, minobacačke mine i različite rakete,
- protupješačke, protuoklopne, morske mine,
- eksplozive za rušenje.

Osnovna primjena pogonskih eksplozivnih tvari, u koju spadaju crni barut i malodimni barut, je izbacivanje projektila iz cijevi vatrenog oružja, pogon raketa, izrada štapina, tempiranih koluta i za pripalu [11].

Do kraja 19. stoljeća za izbacivanje projektila kroz cijev vatrenog oružja korišten je isključivo crni barut, koji je izmišljen u Kini prije nove ere. Pali se vrlo lako, ali se izgaranjem dobije svega 45 % barutnih plinova, a ostalih 55 % čine čvrsti otpatci i vrlo je osjetljiv na vlagu [10]. Danas se još koristi samo kao pogonski eksploziv za lovačka oružja i u vojnoj industriji za izradu sporogorećeg štapina. Malodimni baruti su gotovo u potpunosti zamijenili crni barut, a ovisno koliko u sebi sadrže aktivne eksplozivne komponente dijele se na jednobazne, dvobazne i trobazne.

Prednosti malodimnih baruta u odnosu na crni barut su [9]:

- izgaranjem oslobađaju velike količine plinova, topline i tlaka,
- gotovo se potpuno pretvaraju u plinove (98,5%) stvarajući vrlo malo dima,
- poslije izbacivanja projektila u cijevi ostaje malo čađe, - manje su osjetljivi na vlagu.

Mjesto događaja eksplozije mora biti osigurano brzo i učinkovito jer mogu nastati i najčešće nastaju različite promjene pod utjecajem atmosferskih prilika, djelovanja ljudi i sl.

Nažalost, kad dođe do eksplozije, često druge radnje i mjere imaju prioritete što se tiče zbrinjavanja unesrećenih, gašenja požara, dekontaminacije i sl. Često tek nakon toga slijedi osiguranje mjesta eksplozije i prikupljanje prvih obavijesti o događaju [12]. Jedno od najvažnijih saznanja nakon dolaska na mjesto eksplozije je saznanje o potencijalnoj opasnosti od daljnje eksplozije (tzv. sekundarne eksplozije).

U tom slučaju je potrebno poduzeti mjere u vezi specijalne obrade mjesta događaja koje u pravilu obavlja specijalno obučeni tim istražitelja [12]. Može se dogoditi da je prva eksplozija mamac za ljude i ovlaštene službene osobe, a da druga ima za cilj nanošenje štete žrtvama. Zbog takvih razloga potrebno je poduzeti mjere ograničenog pristupa na sigurnoj udaljenosti, a procjena je vrlo složena jer ovisi o vrsti i težini eksploziva, o građi i konfiguraciji objekta, o položaju eksploziva u objektu itd. Najbolje je sve neovlaštene osobe i one čije prisustvo nije nužno potrebno udaljiti što dalje od centra eksplozije. Prema osobnoj procjeni ovlaštene službene osobe određuju veličinu mjesta eksplozije koji treba osigurati i najčešće je to prostor na kojem su vidljive posljedice eksplozije. Nekad je u određivanju prostora koji se mora osigurati dovoljan i letimičan pregled mjesta događaja [12].

Za određivanje površine koju treba osigurati može se primijeniti jednostavno pravilo da se udaljenost najdaljeg djelovanja primarnih ili sekundarnih fragmenata eksplozije produži još za 50 % i ta se dužina uzme za radijus područja koje treba osiguravati. Odabrani prostor treba obilježiti, pazeći da se ne unište tragovi i predmeti koji se dovode u svezu s eksplozijom [12].

## 5. PREVENCIJSKI PROPUSTI I UZROCI POŽARA I EKSPLOZIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

Analiza požara u željezničkom prometu jasno prikazuje:

- kako je nastao požar,
- način gašenja te
- nastalu štetu koju je prouzročio požar.

Njome se može utvrditi gdje su se dogodili propusti prilikom provođenja zaštite od požara ili nemar, neznanje ili namjera čovjeka.

Nakon provedbe analize požara piše se Izvješće o požaru. Izrađuju ga željeznički radnici te ga proslijeđuju Odjelu zaštite okoliša i zaštite od požara, u što kraćem vremenu.

Izvješće o požaru mora sadržavati:

- datum nastanka požara,
- vrijeme dojava požara,
- lokacija požara (kilometarski položaj ili ime kolodvora),
- udaljenost požara od pruge,
- tko je dojavio požar,
- intervencije,
- kada je požar ugašen,
- da li je prethodni vlak imao utjecaja kod nastanka požara,
- opožarene površine,
- napomene.

Prilikom rada na terenu radi opasnosti od mogućih ozljeda i radi zaštite zdravlja treba koristiti svu raspoloživu zaštitnu opremu i pridržavati se propisa zaštite na radu. Prije ulaska na mjesto događaja požara potrebno je utvrditi je li napajanje električnom energijom isključeno radi sigurnosti ljudi prilikom kretanja i obavljanja pregleda opožarenog objekta. Također treba provjeriti je li isključena opskrba plinom. Pregled i provjera priključka struje i dobave plina treba se provoditi samo uz pomoć lokalnog distributera struje i plina. Pregledom je potrebno sigurno utvrditi je li objekt isključen s napajanja struje i plina i osigurati da za vrijeme rada ne dođe do ponovnog uključanja

struje ili curenja plina u objektu ili dijelu postrojenja. Ako je potrebno obaviti neke izmjene na električnoj instalaciji radi osiguravanja nužnog napajanja na neoštećenom dijelu objekta (na primjer kod zgrade s više stambenih jedinica i slično), navedeno trebaju prije pregleda mjesta događaja požara obaviti djelatnici Elektre [13].

Nakon dolaska na mjesto događaja, ako je u objektu bila instalirana tehnička zaštita i zaštita od požara, od tvrtke koja održava sustave zaštite objekta traži se izuzimanje centralne jedinice sustava zaštite ako ona nije uništena u požaru radi pregleda i analize snimaka video nadzora, prorade vatrodjavne i protuprovalne zaštite.

Vizualnim pregledom mjesta događaja utvrđuju se termička oštećenja s vanjske strane i u unutrašnjosti objekta te se fotografiraju i snimaju videokamerom svi uočeni tragovi. Očevidna ekipa pregledom objekta utvrđuje tragove eventualne provale u objekt (stanje brava na ulaznim vratima i druge tragove).

Pregledom objekta od neoštećenih i manje oštećenih dijelova objekta do jače opožarenih dijelova objekta utvrđuje se mjesto najvećih termičkih oštećenja (centar požara).

Detaljnim pregledom objekta utvrđuje se postojanje električne instalacije i električnih uređaja na mjestu najvećih termičkih oštećenja te termička oštećenja na kabelima (vodovima) električne instalacije, na razvodnim ormarima s osiguračima i na električnim uređajima [13].

Svi pronađeni tragovi fotografiraju se i snimaju videokamerom, a nakon fotografiranja izuzimaju se sporni tragovi (karakteristični tragovi koji su posljedica nepravilne izvedbe ili kvara na električnoj instalaciji ili uređajima, a koji su u vezi s uzrokom požara). Također treba izuzeti i sporne tragove ako se sumnja da ima tragova lakozapaljivih sredstava. Ekipa za očevid detaljno fotografira mjesto događaja i vodi precizan zapisnik o pregledu mjesta događaja (Zapisnik o očevidu ili Službenu zabilješku o pregledu mjesta događaja) [13].

Nakon utvrđivanja kvara od strane vještaka, mjesto kvara se fotografira i na zahtjev vještaka izuzimaju se pronađeni tragovi (dio električne instalacije s tragovima kvara ili električni uređaj). Izuzeti materijal s mjesta događaja dostavlja se na daljnje vještačenje.

Kriminalistički tehničar sastavlja izvješće o pronađenim i izuzetim tragovima (izvješće o kriminalističko-tehničkom pregledu mjesta događaja), koje je dio dokumentacije očevida, a također se prema potrebi izrađuje na zahtjev Državnog odvjetništva ili suda i fotodokumentacija očevida. Dokumentacija očevida (zapisnik o očevidu ili službena zabilješka o pregledu mjesta događaja, izvješće o kriminalističko-tehničkom pregledu mjesta događaja i fotografije s očevida na CD mediju) očevidna ekipa dostavlja vještacima putem interne pošte ili u digitalnom obliku putem e-pošte radi pisanja zapisnika o vještačenju [13].

Na slici 7 vidi se opožareni vagon putničkog vlaka koji je vještačen zbog sumnje da je zapaljen iz nehaja, a pregledom vagona i vještačenjem utvrđeno je da je uzrok požara tehnički kvar, i to najvjerojatnije kvar na električnoj instalaciji u hodniku vagona.



Slika 7. Požar putničkog vagona [13]

Kao jedan od glavnih uzroka požara i eksplozija u željezničkom prometu je svakako i prevoženje ukapljenih plinova, koji su lako zapaljivi, vlakom.

Kada se tovore pošiljke opasnih tvari, pa tako i ukapljenih plinova valja se pridržavati propisa koji vrijede u otpremnom kolodvoru. Komadi za otpremu, na koje su nalijepljeni različiti listići za opasnost, ne smiju se tovariti zajedno u vagon ili u kontejner, osim ako zajedničko tovarenje nije dopušteno prema tablici na osnovi listića za opasnost.

Za pošiljke koje se ne smiju tovariti zajedno s drugima moraju se ispostaviti posebni teretni listovi. Prije početka utovara pošiljatelj (ili pošiljateljov predstavnik) željeznici mora predati pravilno i potpuno ispunjen teretni list.

Naznaka opasne tvari u teretnom listu mora odgovarati jednomu od naziva u Pravilniku o međunarodnom prijevozu opasnih tvari željeznicom. Velike posude za rasuti teret i prazne vagonске cisterne, ako nisu očišćene, moraju biti olistane istim listićima za opasnost kao da su pune. Neočišćenu praznu ambalažu, pod kojom se podrazumijevaju i velike posude za rasuti teret, valja smjestiti u vagon ili skladištiti odvojeno od namirnica, drugih predmeta za prehranu i od stočne hrane.

Ambalaža koja se koristi za transport ukapljenog plina mora biti atestirana i označena prema odgovarajućim normama i propisima. Ukapljeni plinovi, zapakirani u odgovarajuću ambalažu, prevoze se u kontejnerima, zatvorenim vagonima, vagonским cisternama i kontejnerskim cisternama.

Kod prijevoza ukapljenih plinova postoje određene posebnosti, kao što su u sljedećim primjerima:

- prijevozna sredstva kojima se prevoze ukapljeni plinovi moraju odgovarati tehničkim uvjetima propisanim za određenu vrstu zapaljivih materijala,
- ambalaže za transport ukapljenog plina smiju se puniti samo plinom za čiji su prijevoz odobrene i koja s materijalima od kojih su izrađene posude, s dijelovima opreme i zaštitnim oblogama s kojima plin ne reagira opasno.

Dijelovi opreme koja se koristi kod transporta ukapljenih plinova trebaju biti postavljeni i osigurani tako da se kod manipulacije i transporta ne oštete i moraju garantirati istu sigurnost kao i posude za transport ukapljenih plinova te biti prilagođeni ukapljenom plinu koji se prevozi.

Najčešći mogući uzroci nesreća s ukapljenim plinovima su:

- ljudski propusti u radu,
- nestručno rukovanje s ukapljenim plinom,
- neuvažavanje statičkog elektriciteta u tehnološkom procesu,
- kvar na opremi i postrojenju,
- neodgovarajući prijevoz,
- prometna nesreća te



- teroristički napad na objekte.

Prema statističkim podacima MUP-a više od 85% nesreća uzrokovano je ljudskim čimbenikom. U Hrvatskoj njihova učestalost raste.

U ovom poglavlju rada prikazati će se provedena istraživanja na temu požara i eksplozija u željezničkom prometu te njihovi uzroci i prevencija.

Upotreba željeznica u Velikoj Britaniji stalno se povećava u posljednjih pet godina, prevozeći tako prosječno godišnje oko 440 milijuna putnika u svakom tromjesečju [14].

Željeznički operateri traže kontinuirano poboljšanje udobnosti i sigurnosti putnika, ali u konačnici su nastoje postići i potrebne i prihvatljive marže profita kako bi mogli održavati svoje poslovanje. Sadašnja tehnologija omogućuje električnim lokomotivama da rade s većom učinkovitošću od dizelskih, pa je elektrifikacija željezničke mreže uobičajena za mnoge zemlje članice EU.

Trenutno se 80% trenutnih željezničkog prometa i putnika nalazi na elektrificiranim linijama unutar europske regije. Statistike pokazuju da željezničko putovanje proizvodi 64% manje CO<sub>2</sub> po putniku u 1 kilometru u usporedbi s automobilima. Dakle, utjecaj željeznice na okoliš i gospodarstvo samo dodatno promiče korištenje željezničkog prijevoza, ističući važnost razumijevanja svih aspekti relevantnih za sigurnost putnika.

Prethodne studije u području sigurnosti željezničkih prijevoza ističu kritičnost izbijanja požara unutar zatvorenog odjeljka vagona. Provedena su brojna istraživanja kako bi se analizirali učinci parametara povezanih s paljenjem, kao što su položaj paljenja, energija paljenja i sagorijevanje goriva te daljnje širenje vatre.

Studije o uzrocima i prevenciji požara u vlakovima postaju sve važnije te su ključne upravo zbog situacija kada do paljenja vatre dolazi dok je vlak još u tranzitu, što u biti onemogućuje bijeg putnicima sve dok se vlak ne zaustavi [14].

Dakle, ova prikazana studija autora Craiga i Asima (2020.) nastoji simulirati širenje unutar prvih 180 sekundi nakon paljenja, oponašajući prikladno zaustavno vrijeme brzog vlaka i razdoblje bijega putnika.

Katastrofalan događaj bio je požar u podzemnoj željeznici Daegu koji se dogodio 2003. godine, u kojem je poginulo 148 ljudi. U provedenim istragama, otkriveno je da je vatri trebalo samo 2 minute da zahvati svih šest vagona. Brzo širenje vatre unutar zatvorenih prostora naglašava nužnost dubinske analize dinamike požara i povezanog stvaranja dima i njegove akumulacije. U ovoj studiji autori analiziraju širenje požara unutar standardnog željezničkog vagona, usredotočujući se pritom na prvih 180 sekundi nakon nastanka požara, na temelju prikladnog vremena zaustavljanja brzog vlaka i razdoblja bijega putnika. Nadalje, ovo istraživanje predstavlja analizu učinaka presvlaka kabine, točnije materijala obloga za sjedenje, na širenje vatre. Prethodni radovi jako su ograničeni u isticanju opsega ovoga parametra, a nisu uspjeli istražiti kako relativno male promjene u rasutoj masi utječu na širenje vatra. Tako su u ovoj studiji provedene opsežne parametarske analize pomoću numeričkih metoda istraživanja čimbenika povezanih s širenjem požara unutar željezničkih vagona [14].

Zatvorena priroda i zapaljivost modernog željezničkog vagona potencira potencijalno katastrofalan scenarij požara. Da bi se ovaj učinak umanjio, dva su standarda koji dalje reguliraju odabir materijala i standardi specifični za projektiranje i održavanje prijevoza a to su EN 50553- Zahtjevi za sposobnost vožnje u slučaju požara na voznom parku i EN 45545- željeznica mora primjenjivati „Zaštitu od požara na željezničkim vozilima“.

Toksičnost požara, a time i njegovo raspršivanje, predstavljaju daleko najveći rizik od teških ozljeda ljudi. Ugušivači ugljikov monoksid (CO) i cijanovodik (HCN) nose granicu očekivanog života od 30 minuta unutar koncentracije od 5700 ppm, odnosno 165 ppm. Smatra se da su ti spojevi najkritičniji kada su uključeni u požar odjeljka, jer postoji veća vjerojatnost uzrokovanja nedostatka kisika pa tako prinosi ovih plinova postaju sve izraženiji [14].

Prilikom procjene povijesnih slučajeva požarnih katastrofa, CO je najistaknutiji spoj koji je pronađen u krvotoku i ozlijeđenih i kritično ozlijeđenih žrtava. Zapravo je utvrđeno da, iako s obzirom na smrtonosnost HCN-a, doza s HCN-om bio je samo puki pomagač smrti u prisutnosti CO. Mučnina i dezorijentacija javljaju se kod ljudi kada koncentracija ugljičnog monoksida pređe 70 ppm [14]. Slično, ugljik-dioksid ometa procjenu na razinama od 3000 ppm. Međutim, valja napomenuti da su ove brojke temeljene na isključivoj potrošnji i ne predstavljaju pravu sliku kada postoji

mnogo plinova u igra. Uvođenje polimera kao goriva pojačava proizvodnju ovih, ali i drugih plinova.

Stalna evolucija znanosti o materijalima stvorila je sve veći broj pojedinačnih varijanti polimeri, svi s različitim kemijskim i zapaljivim svojstvima, stvaraju dodatna pitanja u kvantificiranju opseg njihovog djelovanja na ljude prilikom požara u željezničkom prometu. Kao i kod primjene ovih materijala, postoji tendencija da postoje mnogi slojevi u njihovoj konstrukciji (poput ljepila), pa je stoga teško kvantificirati koje su vrste materijala odgovorne za svaku specifičnu reakciju čovjeka na požar i dim i u kojoj mjeri. Studija naglašava ove razlike u zapaljivosti polimera i pokazuje značajne fluktuacije pri ukupnoj toplini oslobođena pri promjeni specifičnosti svakog pojedinog polimera. Sintetička polimerna poliuretanska pjena (PUF) najčešći je komercijalni materijal putničkih sjedala. Iako PUF-u treba znatno duže vremena da potpuno sagori u usporedbi sa alternativnim prirodnim materijalima, poput konjske dlake ili pamuka, proizvodi znatno smrtonosnije ispušne plinove [14].

Zbog sve većeg broja putnika u željezničkoj industriji, raste zanimanje za veće potrebe u područjima dinamike požara i toksičnosti dima u željezničkom prometu kako bi se umanjile njihove opasnosti po život ugrožavajuće učinke na ljude, čime se poboljšava sigurnost željezničkog prometa.

Ovo je istraživanje provelo opsežno numeričko istraživanje kako bi se razumjeli ti aspekti. Dobiveni rezultati da pokazuju položaj paljenja vatre utječe na lokalne koncentracije CO i CO<sub>2</sub>. Zbog razlike u gustoći između toplih i hladnih plinova unutar željezničkog vagona, toplinski uzgon tjera dim koji nastaje tako da ga podigne gore u vagon. Kako se stvara više dima, on se širi duž cijele kočije prema područjima niske koncentracije, sve dok se cijeli vagon ne napuni dimom.

To je ukazalo na to da će u početku putnici koji su relativno blizu požarnog područja osjetiti istu koncentraciju dima kao netko dalje. Položaj paljenja stoga značajno utječe na visinu sloja dima pri svakom vremenskom intervalu koji je opisan kroz kvantitativne razlike u gustoći dima. Utvrđeno je da energija paljenja pridonosi zabilježenim razinama gustoće dima, uz smanjenje od 50% energije paljenja koje odgovara 16% prosječnom smanjenju gustoće dima. Promjena materijalne obloge sjedala značajno utječe na koncentraciju ugljikovih produkata, pa tako s polieterskim materijalom koji proizvodi 27 puta više CO i tri puta više CO<sub>2</sub> od najlonskog tipa

pandana, unatoč relativnoj beznačajnosti mase materijala. To potvrđuje da je određeni materijal neprikladan za ovu aplikaciju u željezničkom prometu. Rezultati dobiveni u ovoj studiji mogu pomoći u razvoju praktičnih smjernice i standardnih operativni postupaka za evakuaciju putnika u slučaju požara na željezničkom vagonu i u željezničkom prometu [14].

Drugo provedeno istraživanje na ovu temu proveo je autor Leitner [8].

On je nastojao identificirati opasnosti i analizirati rizike na temelju postojećih scenarija željezničkih nesreća.

Da bi se izvršila identifikacija opasnosti, potrebno je razumjeti što jesu opasnosti, kako ih prepoznati i kako ih definirati. Odnosno, potrebno je razumjeti izgled nesreće i slijeda njegova napretka. U fazi identifikacije opasnosti koristi se sljedeći postupak i razvijeni su scenariji željezničke nesreće koji su dalje definirani ovim sekvencama [15].

1. Definicija sustava, granica: postavljanje cilja identifikacije opasnosti i njezina granica.
2. Identificiranje opasnih događaja, opasnosti i prepreka: Uključujući definiciju mjera koje zaustavljaju povećanje nesreće.
3. Razvoj scenarija pojavljivanja nesreće: definiranje odnosa između opasnih događaja, opasnosti i barijere.
4. Razvoj scenarija napretka nesreće: razmatranje relevantnih ključnih utjecajnih čimbenika.
5. Upravljanje scenarijem nezgoda: sastavljanje dnevnika opasnosti.

Za nacionalni model procjene rizika, definicije općeg željezničkog sustava, tehničke specifikacije i okruženje rada sustava su bitni i treba ih uzeti u obzir. Prema željezničkoj klasifikaciji željezničkih nesreća u Slovačkoj, scenariji su podijeljeni u pet glavnih područja, a to su:

1. Sudar vlakova,
2. Iskliznuće vlaka,
3. Požar vlaka,
4. Pružni prijelaz,
5. Željeznička (prometna/sigurnosna) nezgoda.

Scenariji pojavljivanja željezničke nesreće izgrađeni su pravilnom klasifikacijom neposrednih uzroka i temeljnih uzroka. Neposredni uzroci klasificirani su prema karakteristikama svakog opasnog događaja (uvjeti koji odmah mogu izazvati opasne događaje):

- Podstandardni akti - podstandardni postupci/ponašanja onih koji mogu uzrokovati opasne događaje,
- Podstandardni uvjeti - fizički uvjeti koji mogu uzrokovati opasne događaje.

Temeljni uzroci primjenjuju se na sve opasne događaje s identičnom strukturom:

- Čimbenici upravljanja ljudskim resursima - sposobnost, vještina, fizičko/mentalno stanje onih koji upravljaju i sudjeluju u željezničkom prometu;
- Tehnološki čimbenici - kontrola, održavanje i pravni kriteriji vezani uz uvjete tehničkog okruženja uključujući alate i strojeve;
- Vanjski čimbenici - nezakonito djelovanje, loša klima i stanje okolnosti željezničkog prometa [15].

Treće istraživanje koje se dotiče odabrane teme ovog diplomskog rada, izradio je autor Xu i suradnici (2018). U svom istraživanju dotiču se prijevoza opasnih tvari željezničkim prometom koji mogu uzrokovati zapaljenje, požar pa u konačnici i eksploziju.

Prema Pravilima o upravljanju željezničkim prijevozom opasne robe, željeznički opasna roba se odnosi na robu koja je radioaktivna, korozivna, zarazna, otrovna, zapaljiva i eksplozivna u željezničkom prometu. Željeznički promet uključuje skladištenje, rukovanje i prijevoz opasnih tvari. Pravilnikom o upravljanju prijevoza opasnih tvari željeznicom utvrđeno je više od 10.000 opasnih tvari koje su klasificirane kao korozivne tvari, radioaktivne tvari, zarazne tvari, otrovne tvari, organski peroksidi, oksidirajuće tvari u skladu s transportnim zahtjevima i rizicima, zapaljivi plinovi, zapaljive tekućine, zapaljive tekućine, plinski eksplozivi i razne opasne tvari. Opasne tvari različite su prirode i rizika [16].

S napretkom znanosti i tehnologije razmjeri proizvodnje, skladištenja i prijevoza opasnih tvari su sve više rastući, proizvodni proces je izvan kontrole, skladištenje i rukovanje kršenje sigurnosnih zahtjeva, prometne nesreće i drugi uzroci velikih nesreća uzrokovani učestalošću i posljedicama nisu smanjeni, već se značajno

povećavaju. Analiza podataka o nesrećama u željezničkom prometu pokazuje da su se dogodile vrste nesreća s visokom učestalošću i ozbiljnom štetom tijekom skladištenja i transporta opasnih tvari, a uglavnom su uzrokovale požare i eksplozije [16].

Požarna nesreća je nesreća koja uzrokuje požar i uzrokuje materijalnu štetu ili žrtve. Nacionalni standard klasifikacija požara (GB4968-85) prema karakteristikama fizičkog izgaranja dijeli se u četiri kategorije:

- Vatra klase A,
- Vatra klase B,
- Vatra klase C i
- Vatra klase D.

Ova metoda razvrstavanja ima implikacije na vatru i gašenje požara, posebno za odabir sredstava za gašenje požara i opreme za gašenje požara, ali nije od pomoći u predviđanju gubitka požarne nesreće. Prema trajanju požara vatra se može podijeliti na trenutnu i nenametljivu vatru. Trenutna vatra odnosi se na vrlo kratku vatru, poput vatrene kugle i vatre. Netrenutačna vatra je vatra koja traje dugo vremena, poput požara u bazenu. Požar u bazenu je mjesto požara, kada sloj tekućih hlapljivih tvari nastavlja gorjeti. Prema vatri na otvorenom ili zatvorenom prostoru, vatra je podijeljena na požare na otvorenom i u zatvorenom prostoru [16].

Eksplozija je slučajna eksplozija koja iz nekog razloga uzrokuje materijalnu štetu, ozljede ili smrt. Prema prirodi reakcije eksplozije, eksplozija se dijeli na nesreću s fizičkom eksplozijom, nesreću s kemijskom eksplozijom i nuklearna eksplozija. U procesu proizvodnje, skladištenja i transporta kemijski opasnih tvari, pojava visoke frekvencije, ozbiljne posljedice eksplozije uglavnom su sljedeće četiri kategorije:

- eksplozija u fazi koagulacije,
- eksplozija neograničenog oblaka pare,
- eksplozija zapaljivog plina (uključujući paru) i prašine,
- eksplozija pare s ekspanzijom vrele tekućine [16].

Željeznički prijevoz opasnih tvari važna je karika u zaštiti nacionalne ekonomije, ali i važan čimbenik u očuvanju stabilnosti društvenog poretka i stabilnosti života ljudi. Stoga, način kako osigurati sigurnost željezničkog prijevoza opasnih tvari vrijedan je

daljnjeg proučavanja i rasprave. U razvoju nacionalne ekonomije i svi slojevi društva neodvojivi su od proizvodnje opasnih kemikalija, te imaju zadatak sigurno i kvalitetno obaviti transport opasnih kemikalija putem željezničkog prometa u nekim slučajevima. Upravljanje sigurnošću željeznice koja prevozi opasne tvari je povezana sa stabilnošću ljudskog života i stabilnošću društvenog poretka. S obzirom na rupe i probleme u sadašnjem upravljanje sigurnošću prijevoza opasnih tvari, relevantni odjeli trebali bi donijeti ciljane mjere poboljšanja upravljanja sigurnošću opasnog tereta na željeznici [16].

Četvrto istraživanje proveli su autori Kong i suradnici 2017. godine, a istraživali su utjecaj dima pri izbijanju požara u željezničkom prometu, točnije utjecaj i opasnosti dima prilikom izbijanja požara u dugim željezničkim tunelima.

U ovom radu autori su proučavali ponašanje dima i temperaturu u požarima koji se događaju unutar tunela koji dolaze iz zapaljenog vlaka pomoću numeričkih simulacija u svrhu hitne evakuacije i spašavanja života putnika.

Simulacija je izvedena uz pomoć FDS-a. Nalaz njihova istraživanja, temelji se na analizi rezultirajućih obrazaca, a uz pomoć njega autori su predložili popis ključnih čimbenika od vitalne važnosti za zaštitu putnika zbog visoke temperature i otrovnih plinova. Zaključci sugeriraju kako se dodatni prolazi u tunelu za nezgode mogu učinkovito koristiti za sprječavanje dima tako što se on širi dalje u poprečne prolaze. Unutar 25 metara od izvora požara, temperatura na visini od dva metra prelazi 60 °C, najvišu temperaturu koju ljudsko biće može izdržati.

Mjere za suzbijanje požara poput automatskog požarnog sustava za gašenje i rashladnog sustava vodene zavjese trebaju biti poduzete radi osiguranja sigurnosti evakuacije [17].

Što se tiče eksplozivnih nesreća u željezničkom prometu svakako u obzir valja uzeti i sve češće terorističke napade kojima je upravo željeznički kolodvor nerijetko meta napada zbog velike koncentracije ljudi koja se tamo može pronaći. Autorica Meyer napravila je istraživanje na tu temu i otpornost vagona na eksplozivnu nesreću koja se može dogoditi [9].

Željeznička mjesta atraktivna su meta za teroriste, gužve su i lako su pristupačni i nude izgled s velikim ometanjem i visokim profilom. Nekoliko najsmrtonosnijih napada u europskoj povijesti zapravo je ciljano na putnike prometa na željeznici.

Svi koji pokušavaju osmisliti protuterorističke dizajne u željezničkim vagonima (ili bilo što drugo) suočavaju se s nizom problema. Pomoći dizajnerima u tim procesima i izgraditi s njima okvir sigurnosti uz pomoć njihove sposobnost da inoviraju i komuniciraju na ovom polju je nužno. Svrha ovog članka bila je dvostruka, a prvenstveno se bavila istraživanjem specifične praktičnosti za rješavanje problema projektiranja željezničkih vagona protiv eksplozivnih napada terorista. Okvir sigurnosnih funkcija (SFF) primijenjen je na nosaču vagona ExRes te ga je ocijenio kao izuzetno praktičnog i sigurnog pa ga tako nakon provedenog istraživanja mogu koristiti zemlje širom svijeta upravo u izradi sigurnih željezničkih vagona u kojima će se putnici prevoziti na što sigurniji način te neće biti ugroženi od strane terorističkih napada u onom opsegu u kojem je to bilo do sada [18].

Autori Camillo i suradnici (2013.) još jednom su ukazali na važnost analize rizika od nastanka požara ili eksplozije u željezničkom prometu.

Analiza rizika jedan je od prvih dijelova zaštite od požara inženjerske metodologije. Njegov je cilj odabrati najopasnije scenarije kako bi se proučile njihove performanse požarne sigurnosti. Dizajn scenarij požara predstavlja sve korake od početka požara do završetka evakuacija ljudi. Razvijena metodologija analize rizika od požara koristila je različite alate poput potencijalnih događaja i raspodjele vjerojatnosti. Ova se metodologija sastoji od sljedećeg:

- Opisuje željezničku transportnu mrežu,
- Izvor paljenja i događaje koji mogu utjecati na širenje požara.
- Procjenjuje ulazne parametre.

Izgradnja matrice relativne vjerojatnosti odnosno ozbiljnosti pojavljivanja za svaku vrstu vlaka isto tako ulazi u analizu rizika [19].



## 6. PREVENCIJE POŽARA I EKSPLOZIJA U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

Temeljem odredbe članka 26. stavka 1. Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog prometa (NN 63/20) upravitelji infrastrukture i željeznički prijevoznici su obvezni svake godine Agenciji za sigurnost željezničkog prometa dostaviti izvješće o stanju sigurnosti u željezničkom prometu za prethodnu kalendarsku godinu.

Nadalje, temeljem stavka 2. istog članka Zakona izvješće o sigurnosti mora sadržavati:

- podatke o ispunjavanju unutarnjih sigurnosnih ciljeva trgovačkog društva i rezultate planova sigurnosti;
- razvoj nacionalnih sigurnosnih pokazatelja i zajedničkih sigurnosnih pokazatelja utvrđenih u Prilogu 3. Zakona, u mjeri u kojoj se to odnosi na podnositelja izvješća;
- rezultate unutarnjeg nadzora sigurnosti;
- podatke o nedostacima i nepravilnostima u odvijanju željezničkog prometa i upravljanju željezničkom infrastrukturom koje mogu biti od značaja za Agenciju.

Sukladno Prilogu 3. Zakona i njegovim definicijama te metodologiji Agencije Europske unije za željeznice (ERA), Agencija je u daljnjoj analizi i razradi ovog izvješća o sigurnosti, posebno istaknula ozbiljne nesreće (engl. *serious accident*) te značajne nesreće (engl. *significant accidents*), kao i ostale podatke (posebno neke pretkazivače nesreća) za koje Agencija smatra da ih je potrebno istaknuti vezano za razvoj nacionalnih sigurnosnih pokazatelja [18].

Prema podacima upravitelja infrastrukture – HŽ Infrastrukture d.o.o. dobivenih iz izvješća o sigurnosti za 2019. godinu, bilježi se smanjenje broja izvanrednih događaja (ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata) u usporedbi s 2018. godinom za 3,5%.

U 2019. godini dogodilo se ukupno 13 ozbiljnih nesreća, što je u odnosu na petogodišnji prosjek smanjenje za tri nesreće (smanjenje za 18,7%), broj nesreća je

u odnosu na isto razdoblje povećan za dvije nesreće (povećanje za 3,2%), dok je broj incidenata smanjen za 122 incidenata (smanjenje od 14,0%).

Prema pregledu najvažnijih sigurnosnih pokazatelja, iskazanih prema ERA-a metodologiji, došlo je do povećanja značajnih nesreća (28 značajnih nesreća za 2019. godinu u odnosu na 25 nesreća za 2018. godinu, što je gotovo na razini petogodišnjeg prosjeka s 28,2 nesreće). U odnosu na isto razdoblje došlo je do značajnijeg smanjenja usmrćenih za sedam osoba (što je smanjenje u odnosu na petogodišnji prosjek za 26,1%), dok je teže ozlijeđenih više za 6 osoba (smanjenje u odnosu na petogodišnji prosjek za 18,8 %).

Zaštita od požara obuhvaća skup mjera i postupaka normativne, upravne, organizacijske, tehničke, obrazovne i promidžbene naravi, utvrđene Zakonom o zaštiti od požara (NN 92), podzakonskim aktima, odlukama tijela jedinice lokalne uprave čijim se izborom i primjenom postiže veći stupanj zaštite od požara [20].

Sustav zaštite od požara i tehnoloških eksplozija obuhvaća norme ponašanja radnika i trećih osoba za vrijeme rada, kretanja i zadržavanja u građevinama i na prostoru Društva, kao i tehničke normative, norme i upute u svezi s građevinama, pogonima i drugim sredstvima rada.

Svaki radnik obavezan je provoditi mjere zaštite od požara na svome radnom mjestu i mjestu rada, i to onako kako je propisano Zakonom, podzakonskim aktima, odlukama tijela jedinica lokalne uprave, planovima zaštite od požara i drugim posebnim uputama, upozorenjima i/ili zabranama te priznatim pravilima struke.

Služba zaštite od požara obavlja sljedeće poslove:

- izrada Pravilnika o zaštiti od požara i ostalih općih akata iz zaštite od požara
- izrada izmjena i dopuna općih akata iz područja zaštite od požara
- davanje stručnog mišljenja na izrade tehničkih i tehnoloških projekata za rekonstrukciju postojećih ili izgradnju novih objekata
- izrada Poslovnog plana za narednu godinu koji se odnosi na investicije, materijal i usluge vezane za provedbu mjera zaštite do požara
- organizacija i nadzor nad provedbom mjera zaštite od požara na čitavom području HŽ Infrastruktura d.o.o.

- izrada Programa za osposobljavanje i redovno poučavanje radnika iz zaštite od požara
- nadzor nad provođenjem ispitivanja i mjerenja vezanih za zaštitu od požara:
- nadzor uređaja i instalacija za gašenje požara:
  - vatrogasnih aparata – prijenosnih
  - vatrogasnih aparata – prijevoznih
  - stabilnih sustava za dojavu požara
  - stabilnih sustava za gašenje požara: vodom - unutarnja i vanjska hidrantska mreža, halonom, s ugljičnim dioksidom, CO<sub>2</sub>
  - električnih instalacija – otpor izolacije
  - električnih instalacija i uređaja izvedenih u protueksplozijskoj zaštiti
  - gromobranskih instalacija i uzemljenja: objekta bez dodatnih opasnosti, objekta u kojima se rabe ili skladište zapaljiva i eksplozivna sredstva
  - strojeva i uređaja s povećanom opasnosti koja troše gradski, zemni plin ili UNP, kotlovnica
  - plinske instalacije – nepropusnost
  - sustava za ventilaciju i klimatizaciju
  - dimnjaka
- Radnje vezane za Program aktivnosti u provedbi posebnih mjera zaštite od požara od interesa za RH:
  - Izrada, izmjena i dopuna općih akata iz područja zaštite od požara,
  - organizacija i nadzor nad provedbom mjera zaštite od požara na čitavom području HŽ Infrastrukture,
  - sudjelovanje u nadzornim i kontrolnim pregledima od strane inspekcije zaštite od požara,
  - osposobljavanje radnika iz zaštite od požara,
  - nadzor nad provođenjem ispitivanja i mjerenja vezanih za zaštitu od požara,
  - nadzor nad obavljanjem servisa i popravaka stabilnih sustava za dojavu i gašenje požara.

Obveze radnika u provedbi mjera zaštite od požara:

- poduzimati, provoditi i držati se propisanih mjera zaštite od požara na radnom mjestu i u radnom prostoru
- upoznati se s odredbama ovoga pravilnika prije stupanja na rad i samostalnoga obavljanja poslova na radnom mjestu
- prije rasporeda na drugo radno mjesto upoznati se s propisanim i drugim mjerama zaštite od požara u svezi s novim poslovima na tome radnom mjestu
- tijekom rada pratiti, kontrolirati rad, funkcioniranje i ispravnost strojeva, uređaja, instalacija i drugih sredstava u bližem i širem radnom okružju, svaki kvar ili neispravnost koja bi mogla biti uzrokom nastanku požara odmah prijaviti neposrednom voditelju
- pridržavati se oznaka upozorenja i naputaka za zaštitu od požara koji su postavljeni na radnom mjestu i u radnom prostoru
- prije obavljanja poslova i rukovanja s opasnim tvarima (zapaljive, korozivne, otrovne i sl.) spriječiti njihovo prolijevanje, curenje, prosipanje i istjecanje po radnim površinama
- brinuti se o tome da pristup njihovom radnom mjestu bude slobodan i moguć kako bi se nesmetano rabila oprema i sredstva za gašenje požara i otklonile posljedice
- aktivno sudjelovati u gašenju požara na svim građevinama i njihovim dijelovima u Društvu

### **6.1. Mjere prevencije**

Pod preventivne mjere valja osigurati preventivne građevinske mjere koje podrazumijevaju izgradnju izlaza i izlaznih puteva. U takve mjere spadaju prostori na hodnicima i stubištima koji su namijenjeni evakuaciji osoba iz građevina u slučaju požara moraju biti označeni na odgovarajući način te uvijek slobodni i prohodni. Smjer izlaza mora biti vidljivo označen standardnim oznakama. Evakuacijski putevi moraju voditi izravno na ulicu ili na otvoren siguran prostor koji je dovoljno prostran

da se osobama omogući odmicanje od građevine te brzo i sigurnom napuštanje tog prostora, a najveća duljina evakuacijskog puta može iznositi 50 metara u prizemnim prostorijama i 30 metara na katovima građevina. Osim toga rukohvati i ograde na stubištima trebaju biti stabilno pričvršćeni za konstrukciju građevine.

Kao preventivne mjere moraju se osigurati i otvori na zidovima, odnosno vrata na evakuacijskim putevima moraju biti izvedena tako da se otvaraju u smjeru evakuacije, a na ostakljenim vratima ne smije biti napuknuto ili razbijeno staklo.

Oštećenja na zidovima treba popraviti materijalom istih protupožarnih karakteristika kakve ima postojeći materijal. U blizini zidova koji imaju gorive materijale ne smiju se stavljati toplinski izvori, a stropovi ne smiju imati oštećenja i pukotine. Ako su zaštićeni oblozima ili premazima za zaštitu od požara, moraju biti zaštićeni cijelom površinom i ne smiju biti odvojeni od stropne površine. Na podovima ne smiju postojati nezaštićeni otvori, a otvori za provlačenje instalacija moraju biti zabrtvljeni vatrootpornim materijalom koji ima iste požarne karakteristike kao i konstrukcija kroz koju se provlače.

Što se tiče konkretnih mjera zaštite na željezničkoj pruzi tu spadaju kategorije područja ugroženosti prema:

- vrstu biljnog pokrivača,
- podneblja,
- tehničkih parametara pruge.

Mjere zaštite od požara uza željezničke pruge, kojima se smanjuje opasnost od nastajanja i širenja požara jesu preventivne mjere i pod njima se podrazumijevaju radovi na održavanju pružnog pojasa, a to su:

- kemijsko uništavanje trave, korova i niskog raslinja iz područja pružnog pojasa,
- košenje trave, korova i niskog raslinja iz područja pružnog pojasa,
- uklanjanje trave, korova i niskog raslinja iz područja pružnog pojasa,
- u periodu od 01.06. do 30.09. tekuće godine potrebno je ograničiti brzinu teretnih i putničkih vlakova, osim nagibnih i dizelskih motornih garnitura vlakova serije 7122 na 40 km/h na područjima visoke požarne ugroženosti gdje zbog kočenja iskre mogu izazvati požare,

- u kolodvorima koji su na prugama visoke požarne ugroženosti potrebno je preko razglasa prije polaska svakoga vlaka za prijevoz putnika upozoriti putnike na zabranu bacanja zapaljivih predmeta iz vlaka,
- u kolodvoru Perković i Plase potrebno je zaustaviti sve tovarne teretne vlakove u zadržavanju vlaka trajanja 15 min radi hlađenja aktivnih dijelova kočnica i osovinskog sklopa

Održavanje protupožarnog sustava i aparata za gašenje požara željezničkog vozila obuhvaća:

- redoviti pregled koji obavlja posjednik vozila odnosno pravna ili fizička osoba koju je odredio posjednik vozila, obavlja se na svakom servisnom kontrolnom pregledu.

Provjerava se i opremljenost naljepnicama, plombama i rok valjanosti pojedinih aparata za gašenje požara, opremljenost vozila protupožarnim sustavom ili aparatima za gašenje požara te kompletnost protupožarnog sustava. Svi nedostaci nakon pregleda moraju biti otklonjeni,

- periodični pregled koji obavlja pravna ili fizička osoba koja za te poslove ima ovlaštenje sukladno Zakonu o zaštiti požara,
- kontrolno ispitivanje koje obavlja pravna ili fizička osoba koja za te poslove ima ovlaštenje sukladno Zakonu o zaštiti požara.

Ono što je isto tako važno za samo prevenciju požara i eksplozija i njihovo uspješno suzbijanje je svakako kontrola ispravnosti. Poslovođitelj odnosno organizator radnoga procesa, prije preuzimanja posla obvezan je vizualno ustanoviti stanje ispravnosti uređaja i opreme za dojavu i gašenje požara, a o ustanovljenim nedostatcima odmah obavijestiti radnika Službe koji poduzima mjere za to da se nedostaci otklone u najkraćem mogućem roku. Postavljena je sljedeća vatrogasna oprema:

- prijenosni i prijevozni vatrogasni aparati,
- stabilni sustavi za dojavu i gašenje požara,
- priručna sredstva za gašenje požara,
- pijesak, lopate.

Održavanje vatrogasnih aparata obuhvaća redoviti pregled, periodični pregled i unutarnji pregled. Popis i raspored vatrogasnih aparata te plan njihova održavanja izrađuju radnici Službe. Redoviti pregled vatrogasnih aparata obavljaju radnici Službe i šefovi barem jednom u svaka tri mjeseca kada je riječ o vatrogasnim aparatima koji se nalaze u zatvorenim prostorijama gdje nema korozivne atmosfere, a svaka dva mjeseca kada je riječ o aparatima koji se nalaze na otvorenom prostoru.

O nedostacima uočenima tijekom redovita pregledu radnici Službe i šefovi pismeno će izvijestiti šefove ustrojbenih jedinica, a nepravilnosti koje mogu otkloniti sami odmah će otkloniti, a za druge nedostatke angažirati ovlaštenu pravnu osobu ili ustanovu koja ima ovlasti za održavanje i servisiranje vatrogasnih aparata. Vatrogasni aparati za koje se tijekom redovnog pregleda ustanovi da su neispravni, a neispravnost se ne može odmah otkloniti, moraju se zamijeniti ispravnim vatrogasnim aparatom.

O obavljenim redovnim pregledima vatrogasnih aparata radnici Službe i šefovi vode upisnik redovnih pregleda. U upisnik se upisuje mjesto smještaja vatrogasnog aparata, kada je pregled planiran a kada obavljen, kakvo je stanje ustanovljeno i tko je pregled obavio. Periodični pregled ručnih vatrogasnih aparata obavlja ovlaštena pravna osoba. Periodični pregled vatrogasnih aparata obavlja se barem jednom na godinu. Mjesto aparata mora biti označeno propisanom naljepnicom.

O obavljenim periodičnim pregledima vatrogasnih aparata vodi se upisnik o periodičnom pregledu vatrogasnih aparata. Unutarnji pregled vatrogasnih aparata obavlja ovlaštena pravna osoba prema uputi proizvođača.

Motrenje i dojavu požara obavljaju radnici HŽ Infrastrukture. Ako radnici ne mogu ugasiti požar raspoloživim sredstvima, o nastalom požaru trebaju obavijestiti susjedni kolodvor koje navedenu dojavu prosljeđuje područnoj operativi.

## **6.2. Gašenje požara**

Požar na pruzi može nastati krivnjom čovjeka (pripaljivanje, bacanje opuška, naglo kočenje vlaka, itd.) ili širenjem požara koji je u blizini željezničke infrastrukture. Kod

gašenja požara potrebna je brza i djelotvorna intervencija. Ukoliko se požar rano otkrije moguće ga je ugasi priručnim sredstvima (pijesak) ili aparatom za gašenje.

Za vrijeme ljeta, područja oko pruge koja je zbog nedostatka kiše suha, može se vrlo brzo zapaliti i pretvoriti u veliki požar. Brzina širenja ovisi i o vremenskim uvjetima (vjetar), vrsti gorive tvari, vlažnosti goriva, topografiji (nagib i orijentacija terena) te o brzini dojava požara i reakciji gasitelja.

Gašenje se najčešće provodi vodom, a ukoliko je došlo do zapaljenja opasnih tvari, odabir sredstva za gašenje i taktika gašenja ovisi o vrsti zapaljene tvari.

Postoje 3 osnovna oblika mlaza vode, a to su:

- puni mlaz – veliki domet (30 do 70 m), velika sila djelovanja, mali učinak gašenja. Koristi se kada trebamo veći domet radi sigurnosti gasitelja 47
- raspršeni mlaz – mali domet (10 do 30 m), mala sila djelovanja, veći učinak gašenja. U određenoj mjeri štiti gasitelje, hladi posude pod tlakom, plašteve spremnika i konstrukcije, gasi požar prijevoznog sredstva, stanova i na otvorenom prostoru,
- vodena magla – najmanji domet, najmanja sila djelovanja, najbolji učinak. Štiti gasitelja od isijavanja, štedi vodu, obara plinove, prašine, pare tekućina i produkata izgaranja. Primjenjuje se za gašenje požara u stambenim prostorima, vozila, hlađenje konstrukcija.

Požar može izbiti na nepristupačnom terenu gdje vatrogasac teško može stići do njega. Ukoliko dođe do velikog požara, tada je nužna uporaba zrakoplova i helikoptera za gašenje požara. Koordiniranom uporabom zračnih i zemaljskih snaga postižu se najveći učinci. Zračne snage kao način gašenja koriste „Vodenu bombu“ i „Vodeni tepih“. Vodena bomba ima udarno djelovanje te se ne smije koristiti u blizini naselja. Primjenjuje se kod požara visokih šuma (30-40 m).

Vodeni tepih je ploha raspršene vode koja pokriva što veće površine otvorenog prostora. Njihov učinak se može pojačati kemikalijama, a primjenjuju se za pravljenje prilaza požaru, prolaza kroz požar te u urbanim sredinama.



## 7. ZAKLJUČAK

Najčešći uzrok požara ili eksplozije je ljudska nemarnost i zato je pravilna edukacija vrlo bitna, pogotovo ako može doći do ljudskih žrtava. Osim poznavanja mjera zaštite od požara bitno je kako reagirati kada se dogodi požar. Pravodobnom reakcijom i dojavom možemo smanjiti širenje požara ili ga potpuno otkloniti.

Pravilnom izgradnjom željezničkih građevina, vozila i infrastrukture te pravilnom primjenom i održavanjem istih uvelike sprečava nastanak požara.

Utvrđivanje uzroka požara vrlo je složeno te je potrebno posebno stručno znanje i poznavanje više struka. Posebno je potrebno naglasiti da stručnjaci trebaju, osim znanja, imati i iskustvo u uočavanju i prepoznavanju tragova na mjestu događaja pri čemu je potrebno prepoznati i izuzeti uzorke za laboratorijsko ispitivanje. Kod toga treba imati iskustva da se pravilno postave pitanja za laboratorij. Tragovi ovise o svojstvima materijala, smjeru kretanja požara kao i o eventualnim vanjskim utjecajima (vjetar, kiša...). Za stručnu i znanstvenu analizu te objašnjenje pronađenih tragova na razumljiv način, zahtijeva se multidisciplinarni pristup.

Požar na pruzi može nastati krivnjom čovjeka (pripaljivanje, bacanje opuška, naglo kočenje vlaka, itd.) ili širenjem požara koji je u blizini željezničke infrastrukture. Kod gašenja požara potrebna je brza i djelotvorna intervencija. Ukoliko se požar rano otkrije moguće ga je ugaziti priručnim sredstvima (pijesak) ili aparatom za gašenje.

Osnovni način izazivanja požara je ljudski nehat i nepažnja. Svatko od nas može i mora pažljivim i odgovornim ponašanjem spriječiti nastanak požara, a ako se ovaj ipak pojavi, uz odgovarajuće mjere opreza početni požar pogasiti pomoću raspoloživih priručnih sredstava. U željezničkom prometu najveću opasnost predstavlja naglo kočenje zbog velike brzine. Iskre prilikom kočenja zahvate ne samo prugu već i okolna područja koja su povezana željeznicom. Zbog toga je velika mogućnost nastanka velikih požara, pogotovo u ljetnim mjesecima, zbog suhog raslinja.

Modernizacijom vlakova i infrastrukture te pravilnom edukacijom možemo smanjiti broj požara u željezničkom prometu[10].

## 8. POPIS LITERATURE

- [1] Pupavac, D. (2013). Zaposlenost u željezničkom prometu: pogled unatrag i pogled u budućnost.
- [2] Bogović, B. (2006). Prijevozi u željezničkom prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [3] Popović, Ž. (2006). Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika, Zagreb: Hrvatska vatrogasna zajednica, 2006.
- [4] Pichler, T.(2008). Zaštita okoliša i požar, 2008. [http://www.vestatest.com.hr/e-learning-pad\\_pozara\\_eksplozija.html](http://www.vestatest.com.hr/e-learning-pad_pozara_eksplozija.html) pristupljeno\_14.7.2021.
- [5] Batinić, A. (2011.) Prijevoz opasnih tvari,2011. <http://www.linea.hr/proizvodni-program-ploce-za-oznacavanje-prijevoza-opasnih-tvari/861/dizel-gorivo-ili-loz-ulje> ,pristupljeno 20.08.2021.
- [6] Pavelić, Đ. (2011). Mjere zaštite od zaostalih eksplozivnih tvari. Sigurnost 53(3): 278-281.
- [7] Kardum, Z. (2014). Priručnik za osposobljavanje iz zaštite od požara, 2014. [https://issuu.com/hdusluge/docs/prirucnik\\_za\\_osposobljavanje\\_iz\\_za](https://issuu.com/hdusluge/docs/prirucnik_za_osposobljavanje_iz_za) pristupljeno 12.07.2021.
- [8] Peruško, S., Belas, D. (2017). Gašenje požara i postupci pri utvrđivanju uzroka požara na vozilima. Vatrogastvo i upravljanje požarima, 1(7); 41-58.
- [9] Kulišić, D. (2006). Opće značajke pojava samozagrijavanja i samozapaljenja tvari (III. dio). Sigurnost: časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, 48(4):357-90.
- [10] Petrović, M. (2008). Eksplozivne naprave prijete. Hrvatski vojnik.
- [11] Sućeska, M. (2001). Eksplozije i eksplozivi njihova mirnodopska primjena. Brodarski institut.
- [12] Beveridge, A. (2012). Forensic Investigation of Explosions. CRC Press.
- [13] Papić, N. (2017). Vještačenje uzroka požara, Policijska sigurnost, 26(3); 267-280.

- [14] Craig, M., Asim, T. (2020). Numerical Investigations on the Propagation of Fire in a Railway Carriage, dostupno na mrežnoj stranici: [energies-13-04999-v2.pdf](#) , pristupljeno 12.08.2021.
- [15] Leitner, B. (2017). A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis, *Procedia Engineering* 187; 150 – 159.
- [16] Xu, Y., Xu, J. (2017). Discussion on Transportation Management of Railway Dangerous Goods, *Transportation Management*; 26-31.
- [17] Kong, J., Xu, Z.H., You, W., Cao, H.H., Zhou, C. (2017). A study of fire smoke spreading and control in emergency rescue stations of extra-long railway tunnels, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49; 155- 161.
- [18] Meyer, S. (2012). Specifying the explosion-resistant railway carriage—a ‘bench’ test of the Security Function Framework, *Journal of Transportation Security*.
- [19] Kulišić, D., Medić, G. (2012). O kriminalistički znakovitim obilježjima požara na osobnim automobilima. *Policija i sigurnost*. 21(2):293-325.
- [20] Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava NN 63/20 na snazi od 16.06.2020., dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/649/Zakon-o-sigurnosti-i-interoperabilnosti-%C5%BEeljezni%C4%8Dkog-sustava> , pristupljeno 20.08.2021.

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Ploča za označavanje prijevoza opasnih tvari.....	8
Slika 2. Trokut gorenja.....	9
Slika 3. Tetraedar gorenja.....	10
Slika 4. Prijenos topline kondukcijom.....	12
Slika 5. Podjela požara prema vrsti gorive tvari.....	13
Slika 6. Faze razvoja požara.....	14
Slika 7. Požar putničkog vagona.....	22

## **10. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Najčešći izvori požara i temperature koje oni razvijaju.....8