

Prijevoz opasnih tvari

Popijač, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:494612>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša

Prijevoz opasnih tvari

Student:

Antonio Popijač, 0336050645

Mentor

Prof. dr. sc. Bruno Zelić

DIPLOMSKI RAD BR. 60/ARZO/2023

Koprivnica, rujan 2023.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša

STUDIJSKI diplomski sveučilišni studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša

PRISTUPNIK Antonio Popijač

MATIČNI BROJ 0336050645

DATUM 20. rujna 2023.

KOLEGIJ Inženjerstvo u zaštiti okoliša i ambalaži

NASLOV RADA Prijevoz opasnih tvari

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Transportation of dangerous substances

MENTOR Bruno Zelić

ZVANJE redoviti profesor u trajnom zvanju

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv.prof.dr.sc. Dean Valdec - predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Bojan Šarkanj - član
3. prof.dr.sc. Bruno Zelić - mentor
4. izv.prof.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović - zamjenski član
- 5.

Zadatak diplomskog rada

BROJ 60/ARZO/2023

OPIS

Kod prijevoza kao i kod skladištenja opasnih tvari potrebno je poznavati utjecaj opasnih tvari na okoliš te odgovarajuće postupke koje je potrebno poduzeti u slučaju intervencija koje su posljedica unosa opasnih tvari u sastavnice okoliša prilikom ekoloških incidenata. Kako bi se navedeno moglo provesti potrebno je poznavati fizikalno-kemijska svojstva opasnih tvari i njihov utjecaj na sastavnice okoliša.

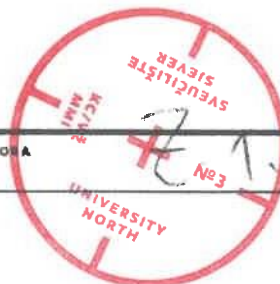
Zbog toga će u okviru ovog diplomskog rada biti definirana podjela opasnih tvari po razredima te prikazana njihova svojstva. Svaka opasna tvar mora biti označena na propisan način sukladno odgovarajućim propisima.

ZADATAK URUČEN

20.9.2023

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE
SIEVER



Zahvale

Ponajprije se zahvaljujem prof. dr. sc. Bruni Zeliću na podršci pri izradi diplomskog rada, njegovome strpljenju i mentorstvu.

Hvala i ostalim profesorima Sveučilišta Sjever na znanju koje su mi prenijeli. Posebno hvala mojoj obitelji za odricanje i podršku u vrijeme studiranja.

Hvala svim onima koji su bili uz mene i vjerovali da ću uspjeti.

Sažetak

Kako bi se pri prijevozu opasnih tvari u slučaju manjih nesreća ili neželjenih događaja moglo postupati na pravilan i siguran način, potrebno je poznavati posebne mjere, uzroke i posljedice nesreća pri prijevozu opasnih tvari te postupke kod intervencija u slučaju nesreća s opasnim tvarima. Kod prijevoza kao i kod i skladištenja opasnih tvari potrebno je poznavati utjecaj opasnih tvari na okoliš te odgovarajuće postupke koje je potrebno poduzeti u slučaju intervencija koje su posljedica unosa opasnih tvari u sastavnice okoliša prilikom ekoloških incidenata. Kako bi se navedeno moglo provesti potrebno je poznavati fizikalno-kemijska svojstva opasnih tvari i njihov utjecaj na sastavnice okoliša.

Summary

In order to be able to act properly and safely in the case of minor accidents or unwanted events during the transport of dangerous goods, it is necessary to know the special measures, causes and consequences of accidents during the transport of dangerous goods and the procedures for interventions in the event of accidents involving dangerous goods. When transporting, as well as when storing dangerous substances, it is necessary to know the impact of dangerous substances on the environment and the appropriate procedures that need to be taken in case of interventions that are a consequence of the introduction of dangerous substances into the components of the environment during environmental incidents. In order to be able to implement the above, it is necessary to know the physico-chemical properties of dangerous substances and their impact on the components of the environment.

Ključne riječi:

Opasne tvari, eksplozivne tvari, plinovi, prijevoz, sigurnosne mjere, nesreće.

Keywords:

Dangerous substances, explosive substances, gases, transport, safety measures, accidents.

Popis kratica:

ADR – europski sporazum o međunarodnom prijevozu opasnih tvari u cestovnom prometu

BLEVE – *Boiling liquid expanding vapour explosion*, eksplozija ekspandirajućih para kipuće kapljevine

bq – Bekerel

cm – centimetar

CSI – indeks kritične vrijednosti

ERICards - *Emergency Response Intervention Cards*, interventne kartice za hitne slučajeve

g – gram

GMMO – genetski modificirani mikroorganizmi

GMO – genetski modificirani organizmi

h – sat

l – litra

LC₅₀ – *Lethal Concentration 50*, smrtonosna koncentracija

LNG – *Liquefied natural gas*, ukapljeni zemni plin

LSA – niska specifična vrijednost

NN – Narodne novine

Pa - Paskal

SCO – kontaminirani objekt

Sv – Sivert

TI – transportni indeks

TNT – Tinitrotoulen

UN – međunarodna brojčana oznaka, identifikacijski broj opasne tvari ili predmeta. Nalazi se u doljnjem dijelu na ploče opasnosti, ispod Kemlerova broja.

Sadržaj

1 Uvod.....	1
2 Definicija i podjela opasnih tvari.....	2
2.1 Podjela opasnih tvari	3
2.1.1 Razred 1 - Eksplozivi	7
2.1.2 Razred 2 - Plinovi.....	8
2.1.3 Razred 3 - Zapaljive kapljevine	11
2.1.4 Razred 4 - Zapaljive krutine	14
2.1.5 Razred 5 - Oksidacijske tvar	18
2.1.6 Razred 6 - Otrovnne i infektivne tvari.....	20
2.1.7 Razred 7 - Radioaktivni materijali	24
2.1.8 Razred 8 - Korozivne tvari.....	27
2.1.9 Razred 9 – Mješovite opasne tvari i predmeti	30
3 Svojstva opasnih tvari	32
3.1 Eksplozivne tvari.....	32
3.2 Plinovi.....	37
3.2.1 Fizikalna svojstva plinova.....	37
3.2.2 Podjela plinova.....	38
3.2.3 Opasnosti od plinova	40
3.2.4 Istjecanje ukapljenih i pothlađenih plinova	41
3.2.5 Eksplozija spremnika s ukapljenim plinom - BLEVE	42
3.3 Zapaljive kapljevine	45

3.3.1	Posebne nesreće izazvane zapaljivim kapljevinama	46
3.4	Zapaljive krutine	48
3.4.1	Zapaljive krutine	48
3.4.2	Tvari podložne samozapaljenju.....	50
3.4.3	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove.....	50
3.5	Otrovne i infektivne tvari	51
3.5.1	Otrovne tvari	51
3.5.2	Infektivne tvari.....	52
3.6	Radioaktivni materijali.....	53
3.6.1	Vrste radioaktivnog zračenja.....	53
3.6.2	Radijacijske veličine i mjerne jedinice	56
3.6.3	Djelovanje na čovjeka	57
3.7	Korozivne tvari.....	61
4	Označavanje opasnih tvari.....	63
4.1	Natpisi i simboli.....	63
4.2	Etikete	64
4.3	Listice i oznaka prijevoznih sredstava	66
4.3.1	Listice.....	66
4.3.2	Oznake	67
4.4	Dodatne oznake prema pojedinim međunarodnim propisima.....	69
4.4.1	Oznake prema ADR-u.....	69

4.5 Romb opasnosti.....	73
4.6 Označavanje opasnih kemikalija	74
5. Postupci kod nesreća sa opasnim tvarima	80
5.1 Taktičke postavke.....	82
5.1.1 Navalno i obrambeno taktičko djelovanje.....	82
5.1.2 Osnovna i proširena taktička jedinica.....	82
5.1.3 Taktičke grupe	84
5.1.4 Sigurnosne mjere prilikom nesreća sa opasnim tvarima.....	85
5.2 Uklanjanje opasnosti	87
5.3 Dekontaminacija	89
6 Zaključak.....	91

Popis slika

Slika 1: Primjer BLEVE procesa [14].....	44
Slika 2: Vatrogasna intervencija pri gorenju zapaljivih kapljevina [14]	47
Slika 3: Prodornost pojedinih vrsta radioaktivnog zračenja [10]	55
Slika 4: Izgled etiketa opasnih tvari [4].....	65
Slika 5: Primjer postavljanja listice na vozilu [10]	68
Slika 6: Romb opasnosti [4]	73

Popis tablica:

Tablica 1: Podjela opasnih tvari [3]	3
Tablica 2: Skupine pakiranja opasnih tvari [4].....	6
Tablica 3: Razvrstavanje plinova prema opasnom svojstvu [5]	10
Tablica 4: Grupe aerosola [5].....	10
Tablica 5: Skupine pakiranja zapaljivih kapljevina [6]	12
Tablica 6: Vrste tvari iz skupine 4.1 prema ADR-u [5].....	13
Tablica 7: Podjela tvari podložnih samozapaljenju [7].....	15
Tablica 8: Podjela tvari koje u dodiru s vodom postaju zapaljivi plinovi [7].....	16
Tablica 9: Podjela oksidacijskih tvari [8].....	18
Tablica 10: Podjela otrovnih tvari [9]	20
Tablica 11: Označavanje radioaktivne ambalaže [10].....	26
Tablica 12: Podjela korozivnih tvari [11].....	27
Tablica 13: Grupe opasnih tvari i predmeta [12]	31
Tablica 14: Samoreaktivne tvari [15].....	49
Tablica 15: Vrijednosti LD ₅₀ za neke tvari [17]	51
Tablica 16: Djelovanje radijacije na čovjeka [23].....	57
Tablica 17: Identifikacijski kodovi [20]	70
Tablica 18: Oznake opasnih tvari prema ADR-u [20].....	71
Tablica 19: Označavanje opasnih kemikalija [21]	74
Tablica 20: Piktogrami opasnih kemikalija [21]	76

1 Uvod

Opasne tvari su sve one tvari koje ugrožavaju ljudsko zdravlje, uzrokuju zagađenje okoliša, mogu nanijeti materijalnu štetu, ali i one koje su kao takve definirane zakonom te u prijevozu ili skladištenju mogu biti eksplozivne, zapaljive, nagrizajuće, radioaktivne, toksične ili nadražujuće.

Prijevoz opasnih tvari je zahtjevniji od klasičnog prijevoza ostalih vrsta tereta, jer vozači koji prevoze opasne tvari moraju biti osposobljeni za takav prijevoz, te educirani za pridržavanje posebnih sigurnosnih mjera. Kod cestovnog prijevoza koristi se Europski sporazum o međunarodnom prijevozu opasnih tvari cestom (ADR), a u Republici Hrvatskoj prijevoz opasnih tvari uređen je Zakonom o prijevozu opasnih tvari (NN 79/07).

Kod prijevoza opasnih tvari, osim sigurnosti u prijevoznom procesu, osobitu pozornost treba posvetiti istakanju/utakanju, istovaru/utovaru i skladištenju opasnih tvari. Imajući u vidu najbolje mjere zaštite, nesreće s opasnim tvarima nemoguće u potpunosti izbjeći, stoga postupanja i intervencije u slučaju incidenata koji uključuju opasne tvari mogu izvoditi osposobljeni i dobro opremljeni djelatnici, a najvažniju zadaću kod takvih intervencija imaju vatrogasci. Kod prijevoza ili skladištenja opasnih tvari svaki zaposlenik mora biti informiran o vrsti i potencijalnim opasnostima koje može izazvati opasna tvar s kojom se postupa. Navedeno je potrebno kako bi se u slučaju incidenta službama koje su osposobljene za otklanjanje opasnosti u što kraćem vremenu moglo objasniti o kakvim se tvari radi što posljedično osigurava brže i sigurnije postupanje.

2 Definicija i podjela opasnih tvari

Opasnim tvarima [1] smatraju se tvari koje mogu ugroziti zdravlje ljudi, izazvati zagađivanje okoliša ili nanijeti materijalnu štetu, koje imaju opasna svojstva za ljudsko zdravlje i okoliš, koja su kao takve definirane zakonima, drugim propisima, te međunarodnim ugovorima, koje na temelju njihove prirode ili svojstava i stanja, a u vezi s prijevozom mogu biti opasne za javnu sigurnost ili red ili koje imaju dokazana toksične, nagrizajuće, nadražujuće, zapaljive, eksplozivne ili radioaktivne učinke, odnosno, opasnim tvarima smatraju se i sirovine od kojih se proizvode opasne robe i otpadi ako imaju svojstva opasnih tvari.

Međunarodni propisi (NN 79 /07 i 70/17) o prijevozu opasnih proizvoda i tereta definiraju opasne tvari i terete kao tvari i predmete čiji je prijevoz izričito zabranjen ili dopušten samo pod određenim okolnostima iz pojedinih propisa.

2.1 Podjela opasnih tvari

Opasne tvari imaju jednu ili više rizičnih štetnih svojstava [2]. Opasne tvari kategorizirane su u devet klasa ili razreda na temelju njihovog štetnog svojstva ili, ako ih ima više, njihovog glavnog opasnog svojstva. Pojedinačni razredi grupiraju se u skupine prema vrsti opasnosti (Tablica 1).

Tablica 1: Podjela opasnih tvari [3]

Razred 1	Eksplozivi
Skupina 1.1	Sadrži tvari i predmete koji predstavljaju opasnost od masovne eksplozije. Kada se počnu eksplozivne reakcije, one se gotovo trenutačno šire cijelim sadržajem, uzrokujući ogromnu eksploziju. (TNT, dinamit, crni barut, natopljeni olovni azid, razne mine, bombe, torpeda...).
Skupina 1.2	Sastoji se od tvari i predmeta koji predstavljaju prijetnju projekcijom, ali ne i opasnost od eksplozije u rasutom stanju. Projektil ili fragmenti koji izlete nakon detonacije eksploziva predstavljaju prijetnju izbacivanju.
Skupina 1.3	Materijali i predmeti koji predstavljaju opasnost od požara, kao i smanjenu opasnost od eksplozije i prskanja, ali ne i opasnost od masovne eksplozije. Ova kategorija pokriva materijale i artefakte koji kada se zapale mogu proizvesti intenzivno toplinsko zračenje ili kada se uzastopno zapale mogu proizvesti slabe eksplozivne ili projektilne učinke. (pogonski eksplozivi, raketna goriva, streljivo...)

Skupina 1.4 Stvari i tvari koje ne predstavljaju ozbiljnu prijetnju. Ne očekuju se opasnosti od izbacivanja ili fragmenti koji bi predstavljali ozbiljan rizik zbog svoje veličine ako dođe do paljenja ili pokretanja ovih spojeva. Umjesto toga, učinci su sadržani unutar granica paketa. Vanjska vatra ne može trenutno izazvati eksploziju cijelog sadržaja kutije

Skupina 1.5	Vrlo neosjetljivi spojevi koji predstavljaju opasnost od eksplozije velikih razmjera. Masivne eksplozije su teoretski moguće, iako su vrlo malo vjerojatne. Osim toga, postoji vrlo mala vjerojatnost da će mješavina amonijevog nitrata i tekućih goriva doživjeti prijelaz iz deflagracije u detonaciju tijekom gorenja.
Skupina 1.6	Izuzetno neosjetljivi objekti bez opasnosti od eksplozije velikih razmjera. To su materijali koji imaju vrlo slabe detonacije i nerado pokreću i prenose paljenje na druge materijale. Ako se inicijacija ipak dogodi, vrlo su male šanse da će se proširiti na druge stvari.
Razred 2	Plinovi
Skupina 2.1	Zapaljivi plinovi
Skupina 2.2	Nezapaljivi i neotrovni plinovi
Skupina 2.3	Otrovni plinovi
Razred 3	Zapaljive tekućine

Razred 4	Zapaljive krutine
Skupina 4.1	Zapaljive krutine, samoreaktivne tvari i krute eksplozivne smjese
Skupina 4.2	Tvari podložne samozapaljenju
Skupina 4.3	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove
Razred 5	Oksidacijske tvari i organski peroksidi
Skupina 5.1	Oksidacijske tvari
Skupina 5.2	Organski peroksidi
Razred 6	Otrovne i infektivne tvari
Skupina 6.1	Otrovne tvari
Skupina 6.2	Infektivne tvari
Razred 7	Radioaktivni materijali
Razred 8	Korozivne tvari
Razred 9	Mješovite opasne tvari i predmeti

Za potrebe pakiranja opasne tvari i predmeti podijeljeni su i u skupine pakiranja, ovisno o stupnju opasnosti (Tablica 2).

Tablica 2: Skupine pakiranja opasnih tvari [4]

Skupina pakiranja I	tvari visoke opasnosti
Skupina pakiranja II	tvari srednje opasnosti
Skupina pakiranja III	

Tvari, predmeti i materijali iz razreda 1, 2 i 7, skupina 5.2 i 6.2 te samoreaktivne tvari iz skupine 4.1 nisu podijeljeni u skupine pakiranja.

2.1.1 Razred 1 - Eksplozivi

Eksplozivne tvari

Osnovna karakteristika eksplozivnih tvari, bilo da su u krutom ili kapljevitom agregatnom stanju, je njihova sposobnost da spontano kemijski reagiraju i proizvedu plin s dovoljno visokom temperaturom, tlakom i brzinom koji izazova štetu ili štetu okolišu. Eksplozivne tvari obuhvaćaju pirotehničke spojeve i sve one materijale koji, kao rezultat nedetonirajućih, samo držećih egzotermnih kemijskih reakcija, mogu proizvesti specifične učinke uz pomoć topline, svjetlosti, zvuka, plina ili dima. Stvari koje same po sebi nisu eksplozivne, ali mogu stvoriti eksplozivnu smjesu plina, prašine ili pare u kombinaciji sa zrakom, ne pripadaju eksplozivnim tvarima. Isto vrijedi i za eksplozivne spojeve koji posjeduju štetnije svojstvo od same eksplozivnosti. Takve tvari pripadaju u razred koji odgovara prevladavajućoj opasnosti (npr. samoreaktivne tvari iz skupine 4.1 ili organski peroksidi iz skupine 5.2).

Eksplozivni predmeti

Eksplozivni predmeti sadrže eksplozivne tvari, ali ne u takvim količinama ili s takvim svojstvima da njihovo slučajno ili nenamjerno paljenje ili iniciranje tijekom transporta ne može imati utjecaja na okoliš izvan samog objekta, kao što su izbacivanje, vatra, dim, toplina ili preglasni zvukovi.

Ostale eksplozivne tvari i predmeti

U ovu podgrupu eksploziva pripadaju eksplozivne tvari i predmeti koji nisu navedeni prethodno, ali su također proizvedeni za potrebe stvaranja eksplozivnog ili pirotehničkog učinka.

Kompatibilne grupe

Specifikacije za proizvodnju i prijevoz eksplozivnih materijala i predmeta imaju za cilj osigurati odgovarajuću razinu sigurnosti od slučajnog iniciranja, što je najlakše izvesti korištenjem drugog eksploziva. Eksplozivi su podijeljeni u skupine koje su međusobno kompatibilne kako bi spriječile ovu vrstu inicijacije. Treba nastojati izbjeći grupiranje različitih skupina zajedno jer su one gotovo uvijek u sukobu jedna s drugom. Takozvana sigurnosna kompatibilna skupina, kompatibilna skupina S, iznimka je od

ovog pravila. Slova se koriste za identifikaciju trinaest prikladnih skupina eksploziva. Moguće klasifikacijske šifre utvrđene su za skupinu i kompatibilnu skupinu za eksplozivne kemikalije i predmete. Ovi kodovi uključuju brojčanu oznaku grupe (1.1–1.6) i slovnu oznaku kompatibilne grupe.

2.1.2 Razred 2 - Plinovi

Plin je tvar koja pri 50 °C proizvodi paru tlaka veću od 300 kPa (3 bar) te je pri 20 °C i standardnom tlaku (100 kPa) u potpunosti u plinovitom stanju.

Podjela plinova:

Prema fizikalnom stanju razlikujemo sljedeće plinove:

- 1) Komprimirani plinovi su svi plinovi čija je kritična temperatura manja ili jednaka –50 °C i koji su pri toj temperaturi potpuno u plinovitom stanju. Plinovi koji su djelomično u kapljevitom stanju na temperaturi višoj od –50 °C nazivaju se ukapljenim plinovima.
- 2) Ukapljeni plinovi dijele se na:
 - a) Plinove s kritičnom temperaturom između –50 °C i 65 °C koji se nazivaju visokotlačni ukapljeni plinovi.
 - b) Plinove s kritičnom temperaturom iznad +65 °C koji se nazivaju niskotlačni ukapljeni plinovi.
- 3) Pothlađeni ukapljeni plinovi su plinovi koji pod utjecajem niskih temperatura djelomično prelaze u kapljevinu.
- 4) Plinovi koji se mogu otopiti u kapljevitom otapalu nazivaju se otopljeni plinovi.

U nastavku je dana podjela tvari od kojih nisu sve plinovi, ali ih ADR svrstava u Razred 2 – Plinovi:

- 5) Raspršivači aerosola i manje posude s plinom (plinski ulošci).
- 6) Drugi predmeti napunjeni plinom pod tlakom.
- 7) Ne stlačeni plinovi za posebne namjene (plinski uzorci).

Sljedeća podjela razvrstava plinove na temelju njihove štetnosti:

Skupina 2.1: Zapaljivi plinovi koja uključuje plinove koji se zapale kada se pomiješaju s određenim količinama zraka.

Skupina 2.2: Nezapaljivi i neotrovni plinovi. Ovi plinovi guše ili razrjeđuju kisik u atmosferi i nisu otrovni ni zapaljivi. Ovu skupinu plinova nazivamo oksidansima, odnosno kemikalijama koje potiču gorenje snažnije od zraka.

Plinovi u skupini 2.3 su oni koji su prema dostupnim podacima štetni ili destruktivni za živa bića. LC_{50} predstavlja koncentraciju pare, magle ili prašine za koju se očekuje da će izazvati smrt u roku od 14 dana uslijed neprekidnog jednosatnog udisanja kod polovice odraslih, muških i ženskih albino štakora. Budući da ti plinovi imaju LC_{50} vrijednost manju od 5000 ml/m^3 (ppm), pretpostavlja se da su opasni ili korozivni za sva živa bića. Smatra se da su plinovi s LC_{50} 200 ppm vrlo štetni.

Prema opasnom svojstvu ADR razvrstava plinove (osim aerosola) u sljedeće grupe (Tablica 3):

Tablica 3: Razvrstavanje plinova prema opasnom svojstvu [5]

A	zagušljiv
O	oksidacijski
F	zapaljiv
T	otrovan
TF	otrovan, zapaljiv
TC	otrovan, korozivan
TO	otrovan, oksidacijski
TFC	otrovan, zapaljiv, korozivan
TOC	otrovan, oksidacijski, korozivan

Podjela aerosola (Tablica 4) uključuje sljedeće grupe:

Tablica 4: Grupe aerosola [5]

C	korozivan
CO	korozivan, oksidacijski
FC	zapaljiv, korozivan

U nastavku je definiran prikaz odnosa između skupina i grupa:

Skupina 2.1 (grupe sa slovom F)

Skupina 2.2 (grupe sa slovom A ili O)

Skupina 2.3 (grupe sa slovom T).

Klasifikacijski kod u ADR-u čine brojučana oznaka fizikalnog stanja i slovna oznaka opasnog svojstva. Tako, na primjer, oznaka 3F predstavlja pothlađeni ukapljeni plin, zapaljiv.

2.1.3 Razred 3 - Zapaljive kapljevine

Razred 3 - Zapaljive kapljevine uključuje:

- 1) zapaljive kapljevine
- 2) kapljevite eksplozive smanjene osjetljivosti.

Kapljevine, njihove mješavine i kapljevine koje sadrže otopljene ili raspršene krute tvari s plamištem od 60 °C (u slučaju ispitivanja sa zatvorenim spremnikom) ili 65,6 °C smatraju se zapaljivim kapljevine (u slučaju testa s otvorenim spremnikom) [3]. U ovu klasu također spadaju tvari koje mogu ispuštati eksplozivne količine zapaljivih para na temperaturama ispod njihove najviše transportne temperature, kao i kapljevine čiji transport počinje na temperaturi njihovog plamišta ili tvari čiji transport počinje u kapljevitom stanju na povišenim temperaturama. Zapaljive kapljevine koje su zbog nekog drugog svojstva uvrštene u drugu klasu opasnih tvari nisu uvrštene u ovu. Dizelska goriva, plinska ulja i (laka) loživa ulja s plamištem višim od 61 °C, do 100 °C, klasificiraju se kao zapaljive kapljevine prema ADR-u (UN br. 1202). Zapaljive kapljevine ne sadrže tvari koje imaju plamište ispod 23 °C i vrlo su opasne pri udisanju. Također ne uključuju tvari koje imaju plamište iznad 35 °C koje nisu korozivne i ne podržavaju gorenje (osim ako se prevoze na temperaturi plamišta ili višoj), otrovne kapljevine koje imaju plamište iznad 23 °C i pesticidne pripravke te zapaljive kapljevine s plamištem od najmanje 23 °C (pripadaju klasi 6.1).

Zapaljive su kapljevine prema temperaturi plamišta i početnog vrelišta podijeljene u tri skupine pakiranja (Tablica 5).

Tablica 5: Skupine pakiranja zapaljivih kapljevina [6]

Skupina pakiranja	Plamište	Početna temperatura vrelišta
I	--	< 35°C
II	< 23°C	> 35°C
III	[23°C – 60°C]	> 35°C

Kapljeviti eksplozivi sa smanjenom osjetljivošću su eksplozivne kemikalije koje su ravnomjerno pomiješane s vodom ili drugim kapljevinama kako bi se smanjila njihova eksplozivna sposobnost.

Prema ADR-u tvari iz skupine 4.1 razvrstavaju se u sljedeće grupe (Tablica 6):

Tablica 6: Vrste tvari iz skupine 4.1 prema ADR-u [5]

F	Zapaljive tekućine, bez dodatne opasnosti
F1	Zapaljive tekućine s plamištem <61°C
F2	Zapaljive tekućine s plamištem >61°C
FT	Zapaljive tekućine, otrovne
FT1	Zapaljive tekućine, otrovne
FT2	Pesticidi
FC	Zapaljive tekućine, korozivne
FTC	Zapaljive tekućine, zapaljive, korozivne
D	Tekući eksplozivi

2.1.4 Razred 4 - Zapaljive krutine

Kada zapaljiva krutina dođe u dodir s vodom može doći do nastanka zapaljivih para koje se mogu samozapaliti.

U ovom razredu postoje tri grupe tvari:

1) Zapaljive čvrste tvari

Zapaljive čvrste tvari su stvari i čvrsti materijali koji se lako zapale ili zapale tijekom prijevoza. Samo reaktivne čvrste tvari ili kapljevine sklone su snažnim egzotermnim reakcijama. Osim toga, ova skupina se sastoji od nekoliko čvrstih eksploziva koji, ako nisu pravilno razrijeđeni, mogu izazvati eksploziju. Na temelju rezultata posebnih ispitivanja tvari i predmeti iz skupine 4.1 razvrstavaju se u skupine pakiranja II i III.

Čvrsti eksplozivi sa smanjenom osjetljivošću su eksplozivni spojevi koji su jednolično izmiješani, a zatim natopljeni vodom, alkoholom ili razrijeđeni s drugim tvarima kako bi se suzbila njihova eksplozivna sposobnost.

2) Zapaljive tvari koje se spontano zapale

Zapaljive tvari koje se spontano zapale su spojevi koji se mogu zagrijati tijekom transporta ili se mogu zagrijati u dodiru sa zrakom te izazvati požar. Otopine i smjese ove kategorije mogu se zapaliti za manje od pet minuta kada su izložene zraku. Za paljenje ovih spojeva potrebno je više vremena nego za piroforne tvari jer ih je za samozapaljenje potrebna veća količina zapaljive tvari. Te se kemikalije dijele u sljedeće skupine (Tablica 7):

Tablica 7: Podjela tvari podložnih samozapaljenju [7]

S	Tvari podložne samozapaljenju, bez dodatne opasnosti
S1	Organske, tekuće
S2	Organske, krute
S3	Anorganske, tekuće
S4	Anorganske, krute
S5	Organometali
SW	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove
SO	Tvari podložne samozapaljenju, oksidacijske
ST	Tvari podložne samozapaljenju, otrovne
ST1	Organske, otrovne, tekuće
ST2	Organske, otrovne, krute
ST3	Anorganske, otrovne, tekuće
ST4	Anorganske, otrovne, krute
SC	Tvari podložne samozapaljenju, korozivne
SC1	Organske, korozivne, tekuće

3) Materijali koji ispuštaju zapaljive plinove kada dođu u dodir s vodom

Materijali koji ispuštaju zapaljive plinove kada dođu u dodir s vodom su kemikalije čija interakcija s vodom potiče njihovo samozapaljenje ili stvaranje zapaljivijih plinova. Uobičajeni izvori paljenja, poput otvorene svjetiljke, ručnog alata koji iskri ili nezaštićenih rasvjetnih tijela, mogu brzo zapaliti nastale plinove. I ljudi i okoliš mogu biti u opasnosti od plamena i eksplozivnog vala koji nastaje. Te se kemikalije dijele u sljedeće skupine (Tablica 8):

Tablica 8: Podjela tvari koje u dodiru s vodom postaju zapaljivi plinovi [7]

W	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, bez dodatne opasnosti
W1	Tekuće
W2	Krute
W3	Predmeti
WF1	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, tekuće, zapaljive
WF2	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, krute, zapaljive
WO	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, krute, samo zapaljivo
WT	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, otrovne

WT1	Tekuće
WT2	Krute
WC	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, korozivne
WC1	Tekuće
WC2	Krute
WFC	Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove, zapaljive, korozivne

2.1.5 Razred 5 - Oksidacijske tvar

Oksidacijske tvari su tvari koje, kada nisu u kontaktu s drugim tvarima, možda nisu zapaljive, ali unatoč tome izazivaju požare ili potpomažu izgaranje proizvodeći vlastiti kisik. Kada se određeno gorivo temeljito pomiješa s oksidansom, može se izmjeriti povećanje brzine ili intenziteta gorenja ili samozapaljenja kako bi se procijenila oksidacijska moć goriva. Za kategorizaciju oksidacijskih tvari koristi se sljedeće podjela (Tablica 9):

Tablica 9: Podjela oksidacijskih tvari [8]

O	Oksidacijske tvari, bez dodatne opasnosti
O1	Tekuće
O2	Krute
O3	Predmeti
OF	Oksidacijske tvari, krute, zapaljive
OS	Oksidacijske tvari, krute, samo zagrijavajuće
OW	Oksidacijske tvari, krute, u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove
OT	Oksidacijske tvari, otrovne

OT1	Tekuće
OT2	Krute
OC	Oksidacijske tvari, korozivne
OC1	Tekuće
OC2	Krute
OTC	Oksidacijske tvari, otrovne, korozivne

2.1.6 Razred 6 - Otrovnost i infektivnost

Razred 6 – Otrovnost i infektivnost je podijeljen u dvije skupine:

1) Otrovnost

Otrovne tvari su one tvari koje kada dođu u dodir s ljudima, gutanjem, udisanjem ili dodiranjem s kožom, predstavljaju rizik za njihovo zdravlje, a mogu čak biti i smrtonosne. Sljedeće skupine tvari ADR klasificira kao otrovne tvari (Tablica 10):

Tablica 10: Podjela otrovnih tvari [9]

T	Otrovne tvari, bez dodatne opasnosti
T1	Organske, tekuće
T2	Organske, krute
T3	Organometalne tvari
T4	Anorganske, tekuće
T5	Anorganske, krute
T6	Tekuće, pesticidi
T7	Krute, pesticidi
T8	Uzorci

T9 Druge otrovne tvari

TF	Otrovne tvari, zapaljive
TF1	Tekuće
TF2	Tekuće, pesticidi
TF3	Krute
TS	Otrovne tvari, krute, samozagrijavajuće
TW	Otrovne tvari, koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove
TW1	Tekuće
TW2	Krute
TO	Otrovne tvari, oksidacijske
TO1	Tekuće
TO2	Krute
TC	Otrovne tvari, korozivne
TC1	Organske, tekuće

TC2	Organske, krute
TC3	Anorganske, tekuće
TC3	Anorganske, krute
TFC	Otrovne tvari, zapaljive, korozivne

2) Infektivne tvari

Patogeni su prisutni u infektivnim materijalima ili se s velikom sigurnošću može pretpostaviti da su u njima prisutni. Mikroorganizmi (bakterije, virusi, paraziti i gljivice) i druge tvari, poput priona, koji mogu zaraziti ljude ili životinje i uzrokovati bolest nazivaju se patogenima. Infektivne tvari podijeljene su u sljedeće kategorije prema nuspojavama:

- a) *I1* – infektivne tvari koje djeluju na ljude
- b) *I2* – infektivne tvari koje djeluju samo na životinje
- c) *I3* – klinički otpad
- d) *I4* – biološke tvari

Za kategorizaciju zaraznih tvari koriste se sljedeće kategorije:

- a) Kategorija A: Zarazna tvar koja se prenosi na takav način da zdravi ljudi i životinje mogu postati trajno onesposobljeni, biti u ozbiljnoj opasnosti od umiranja ili dobiti vrlo ozbiljne bolesti kao rezultat izloženosti zaraznoj tvari.
- b) Kategorija B: Kontaminanti koji su zarazni, ali ne odgovaraju kriterijima za kategoriju A.

Napomena: UN broj 2814 koristi se za klasifikaciju zaraznih spojeva koji uzrokuju bolesti kod ljudi i životinja ili samo kod ljudi.

Infektivni tvari mogu se podijeliti i na sljedeći način:

Proizvodi napravljeni od živih organizama nazivaju se "**biološki proizvodi**" kada se proizvode i distribuiraju u skladu s nacionalnim propisima, od kojih neki mogu imati dodatne zahtjeve za licenciranje, i koriste se za povezani razvoj, eksperimentiranje ili istraživanje, kao i za prevenciju, liječenje ili dijagnozu kod ljudi ili životinja. To uključuje, ali nije ograničeno na, gotovu ili nedovršenu robu poput cjepiva. Kulture su rezultat procesa kojim su patogeni namjerno razvijeni. To ne uključuje bolesničke uzorke.

Klinički uzorci uključuju ljudski ili životinjski materijal koji je uzet izravno od ljudi ili životinja, kao što su, ali ne ograničavajući se na različite izlučevine, krv i njezine sastavne dijelove, stanice i stanične kapljevine te dijelove tijela koji su premješteni u svrhu provođenja istraživanje, dijagnosticiranje bolesti, liječenje pacijenata i prevencija bolesti.

Mikroorganizmi i organizmi koji su bili podvrgnuti genetskom inženjeringu promijenili su svoj genetski sastav na način koji se ne događa prirodno.

Otpad nastao medicinskim liječenjem ljudi ili životinja ili iz bioloških istraživanja naziva se **medicinski i klinički otpad**.

2.1.7 Razred 7 - Radioaktivni materijali

Radioaktivnim materijalom [10] smatra se svaki materijal koji sadrži radionuklide u mjeri u kojoj ukupna i pojedinačna aktivnost prelazi utvrđene granične vrijednosti.

Sljedeće definicije i objašnjenja važni su za potrebe pakiranja radioaktivnog materijala, otpreme i drugih vrsta operacija, kao i za razumijevanje rizika. Utvrđene su granične vrijednosti za dvije kategorije radioaktivnih elemenata s obzirom na mogućnost širenja u okoliš:

- 1) Radioaktivni materijal posebnog oblika
- 2) Ostali radioaktivni materijali

Radioaktivni materijal određenog oblika uključuje nedisperzibilni čvrsti radioaktivni materijal i radioaktivni materijal u zatvorenim kapsulama koje se mogu otvoriti samo uništavanjem. Specifična aktivnost tvari odnosi se na aktivnost po jedinici mase (Bq/g) ili volumena (Bq/l), dok se specifična aktivnost radionuklida odnosi na aktivnost nuklida po jedinici mase (Bq/g).

Za beta, gama i alfa emitere niske toksičnosti, kontaminacija radioaktivnim kemikalijama je prisutnost tih spojeva na površini u količini koja emitira zračenje veće od $0,4 \text{ Bq/cm}^2$, ili veće od $0,04 \text{ Bq/cm}^2$ za sve ostale alfa emitere. Na ovaj način se dijele:

- a) ne fiksna kontaminacija - koja se može ukloniti s površine u uobičajenim uvjetima prijevoza
- b) fiksna kontaminacija - svaka ostala kontaminacija

Osiromašeni uran, prirodni uran, prirodni torij, uran-235 ili uran-238, torij-232, torij-238 i torij-230 kada se nalaze u rudama ili kao fizički i kemijski koncentracije, kao i alfa emiteri s vremenom poluraspada manje od 10 dana primjeri su alfa emitera s minimalnom toksičnošću.

Indeks kritične sigurnosti (CSI) je mjera koja se koristi za praćenje cjelokupne količine tereta i izračunava se posebno za svu ambalažu, ambalažu i kontejnere za teret koji sadrže fisibilni materijal. CSI za puno opterećenje izračunava se zbrajanjem indeksa pakiranja.

Uran-233, uran-235, plutonij-239, plutonij-241 i njihove smjese primjeri su fisijских materijala. Tu nisu uključeni prirodni i osiromašeni uran, koji nisu radioaktivno promijenjeni i radioaktivni su samo u nuklearnim reaktorima.

Tvar niske specifične aktivnosti (LSA) je ona koja prirodno ima nisku razinu specifične aktivnosti i na koju se primjenjuju ograničenja prosječne specifične aktivnosti. Ovisno o vrsti materijala i pojedinoj aktivnosti, LSA materijali se dijele u tri skupine: LSA-I, LSA-II i LSA-III. Objekt koji sam po sebi nije radioaktivan, ali ima radioaktivni materijal na svojoj površini naziva se površinski kontaminirani objekt (SCO).

Razina radijacije predstavlja brzinu doze izraženu u milisievertima po satu (mSv/h).

Količina koja se utvrđuje za potrebe praćenja izloženosti zračenju za pakiranje, prepakiranje, teretne kontejnere, nezapakirane materijale LSA-I i površinski onečišćene objekte SCO-I predstavlja transportni indeks (TI). Indeks varira ovisno o aktivnosti objekta i radioaktivnoj površini. Izračunava se množenjem niza parametara koji ovise o veličini predmeta ili pakiranja s razinom zračenja (mSv/h) cjelokupnog tereta izmjenjenog na udaljenosti od 1 m od vanjske površine objekta. Također se može izračunati zbrajanjem svih prethodno izračunatih tranzitnih indeksa pakiranja.

Svaki utovar, uključujući utovar ili istovar u prijevozno sredstvo ili veći teretni kontejner, mora se izvršiti u skladu s uputama pošiljatelja ili primatelja kada se radi o konkretnom prijevozu.

Granične vrijednosti:

Indeks kritične sigurnosti (CSI) ne može biti veći od 50, indeks transporta (TI) pakiranja ili prepakiranja ne može biti veći od 10 (osim za posebni transport), a maksimalna brzina pakiranja ili prepakiranja ne može biti veća od 2 mSv/h.

Maksimalna doza zračenja na bilo kojoj vanjskoj površini, je ona gdje prelazi 10 mSv/h. Sukladno transportnom indeksu i stupnju zračenja koje je pri vrhuncu prisutno na vanjskoj površini, ambalaža i prepakiranja podijeljeni su u tri kategorije: I-BIJELA, II-ŽUTA i III-ŽUTA. U usporedbi s kategorijom II-ŽUTA i kategorijom I-BIJELA, kategorija III-ŽUTA ima veći transportni indeks i podrazumijeva veća zračenja (Tablica 11).

Tablica 11: Označavanje radioaktivne ambalaže [10]

Uvjeti		
Prijevozni indeks	Najveća razina radijacije	Kategorija
TI = 0	RR < 0,005 mSv/h	I - BIJELO
0 < TI < 1	0,005 mSv/h < RR < 0,5 mSv/h	II – ŽUTO
1 < TI < 10	0,5 mSv/h < RR < 2 mSv/h	III – ŽUTO
TI > 10	2 mSv/h < RR < 10 mSv/h	III – ŽUTO ^b

2.1.8 Razred 8 - Korozivne tvari

Korozivne tvari [11] su svi spojevi koji svojim kemijskim djelovanjem teško oštećuju žive stanice u međusobnom kontaktu. U korozivne tvari spadaju i tvari koje mogu izazvati štetu kada dođu u kontakt s drugim materijalom, predmetom ili prijevoznim sredstvom. Kiseline i lužine najčešće su korozivne kemikalije. Rizik koji predstavljaju korozivne tvari procjenjujemo na temelju niza karakteristika, uključujući njihovu reaktivnost na vodu, opasnost od udisanja, sposobnost da nagrizaju određene metale i brzinu kojom nagrizaju ljudsku kožu. Rezultati pojedinih ispitivanja koriste se za razvrstavanje korozivnih predmeta i kemikalija u skupine pakiranja I, II i III. Korozivne tvari podijeljene su u sljedeće klase prema ADR-u (Tablica 12):

Tablica 12: Podjela korozivnih tvari [11]

C1-C10	Korozivne tvari, bez dodatne opasnosti
C1-C4	Kisele tvari
C1	Anorganske, tekuće
C2	Anorganske, krute
C3	Organske, tekuće
C4	Organske, krute
C5-C8	Lužnate tvari
C5	Anorganske, tekuće

C6	Anorganske, krute
C7	Organske, tekuće
C8	Organske, krute
C9-C10	Druge korozivne tvari
C9	Tekuće
C10	Krute
C11	Predmeti
CF	Korozivne tvari, zapaljive
CF1	Tekuće
CF2	Krute
CS	Korozivne tvari, samo zagrijavajuće
CS1	Tekuće
CS2	Krute
CW	Korozivne tvari, koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove

C6	Anorganske, krute
C7	Organske, tekuće
C8	Organske, krute
C9-C10	Druge korozivne tvari
C9	Tekuće
C10	Krute
C11	Predmeti
CF	Korozivne tvari, zapaljive
CF1	Tekuće
CF2	Krute
CS	Korozivne tvari, samo zagrijavajuće
CS1	Tekuće
CS2	Krute
CW	Korozivne tvari, koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove

2.1.9 Razred 9 – Mješovite opasne tvari i predmeti

Poseban rizik predstavlja prijenos miješanih opasnih kemikalija i predmeta jer uključuju spojeve i predmete koji ne spadaju ni u jedan od prethodno definiranih razreda.

Osim toga, razred 9 uključuje i sljedeće tvari:

- a) kemikalije koje su štetne za okoliš
- b) materijali koji imaju visoku temperaturu (materijali u jednom od dva stanja kada prijevoz počinje ili je u tijeku):
 - kapljevine na temperaturama iznad 100 °C
 - krutine na temperaturama do 240 °C
- c) genetski modificirani organizmi (GMO) i genetski modificirani mikroorganizmi (GMMO), koji ne spadaju u zarazne tvari, ali mogu imati neprirodan utjecaj na biljke, životinje ili mikrobiološke tvari.

Prema ADR-u mješovite opasne tvari i predmeti razvrstavaju se u grupe kako je navedeno u Tablici 13.

Tablica 13: Grupe opasnih tvari i predmeta [12]

M1	Tvari koje mogu ugroziti zdravlje uslijed njihovog udisanja u obliku fine prašine
M2	Tvari i uređaji koji u slučaju požara mogu tvoriti dioksine
M3	Tvari koje oslobađaju zapaljive pare
M4	Litijske baterije
M5	Naprave za spašavanje
M6	<i>Zagađivač voda, tekući</i>
M7	Zagađivač vode, kruti
M8	Genetički modificirani mikroorganizmi
M9	Tekuće
M10	Krute
M11	Ostale tvari koje predstavljaju opasnost tijekom prijevoza, a ne ispunjavaju uvjete za druge razrede.

3 Svojstva opasnih tvari

Ključno je biti svjestan rizika koje određene štetne tvari predstavljaju, procijeniti njihovo trenutno stanje i predvidjeti kako će trebati postupati s njima u slučaju curenja, padova, zagrijavanja, požara, povećanja tlaka, razgradnje, polimerizacije, interakcije s drugim tvarima itd.

3.1 Eksplozivne tvari

Materijali koji su eksplozivni reagiraju vrlo brzo. Eksplozija je pojava koja nastaje kada se vrući plinovi pod visokim pritiskom brzo šire u okolinu. Eksploziju često prati karakterističan zvuk i eksplozija okolnog prostora ili kućišta.

Kemijske i fizičke eksplozije dvije su osnovne vrste eksplozija koje se mogu dogoditi iz raznih razloga. Kemijske eksplozije događaju se kao rezultat kemijske reakcije tvari, koja stvara ogroman pritisak. Nasuprot tome, fizičke eksplozije nastaju kao reakcija povećanja tlaka fluida u objektu (mehaničko djelovanje, vanjsko zagrijavanje itd.).

Kondenzirani eksplozivi su eksplozivne kemikalije koje su u čvrstom i kapljevitom agregatnom stanju, te predstavljaju opasnost od eksplozije. Ovu kategoriju karakterizira kemijska reakcija koja se odvija vrlo brzo i rezultira plinovima koji su znatno većeg volumena od početne tvari. Tijekom procesa eksplozije također se proizvodi mnogo topline.

Detonacija i deflagracija. Nakon što se eksploziv aktivira na jednom mjestu, samoodržive reakcije uzrokuju širenje gorenja na više mjesta. Iako je istina da svi eksplozivi brzo gore, ipak postoje neke značajne razlike među njima. Prijenosom topline iz produkata reakcije koji se šire kao rezultat porasta tlaka, određene vrste eksploziva mogu zapaliti obližnje slojeve. Vjeruje se da imaju proces gorenja deflagracijom jer brzinu gorenja kod njih uglavnom diktira brzina prijenosa tvari, koja je obično prilično spora. Kao takvi nazivaju se i progresivnim eksplozivima.

Vrsta, sadržaj, gustoća, fragmentacija i oblik zrnaca materijala, veličina prostora i izvedivost ventilacije i odvođenja topline utječu na to koliko brzo dolazi do deflagracije. Brzina deflagracije stoga se može znatno ubrzati pod određenim okolnostima, čak do

točke u kojoj se inicijacija susjednih slojeva materijala događa brže od brzine kojom se produkti šire ili brzine kojom se uravnotežuje pritisak u sustavu. Prijelaz iz deflagracije u detonaciju događa se u ovoj točki, a inicijacija neizreagiranih susjednih slojeva materijala događa se na drugačiji način – s detonacijskim (tlačnim) valom koji je usporediv sa svjetlosnim valom. Detonabilni eksplozivi pokazuju ovaj proces, koji je znatno brži, u svom prirodnom stanju.

Molekularni eksplozivi i eksplozivne kombinacije. Prisutnost oksidansa unutar same eksplozije temeljni je aspekt koji omogućuje brzo odvijanje kemijskih reakcija u većini eksploziva. U ovoj situaciji, oksidans može biti prisutan u fizičkom sastavu eksploziva (kao što je crni barut) ili u kemijskom sastavu molekule eksploziva (molekularni eksploziv, npr. TNT). Potrebno je inicirati eksploziv, odnosno na određeni način mu dati početnu energiju da bi reakcija započela. Nakon toga se eksplozivne reakcije nastavljaju same od sebe. Iniciranje se može dogoditi različitim metodama, uključujući val detonacije, plamen, toplinu, trenje, udar, lom, itd. Nisu svi eksplozivi jednako osjetljivi na specifične metode pokretanja. Kao rezultat toga, neki eksplozivi mogu biti osjetljivi na jednu metodu inicijacije dok su neosjetljivi na druge metode inicijacije. Na početak i tijek gorenja može znatno utjecati snaga pojedinog izvora. Rad s eksplozivima može biti iznimno opasan jer su nevjerojatno osjetljivi. Stoga je najbolje izbjegavati korištenje velike količine ovih eksploziva (olovni azid, živin fulminat, manitol heksanitrat, tetrazen, DDNP itd.). Ostali eksplozivi značajno se razlikuju po svojoj osjetljivosti, ali općenito se smatra da je njihovo iniciranje daleko teže od iniciranja plinova inicijatora (nitrometan, heksolit, amonijev pikrat, TNT, RDX, HMX, PETN, NQ...).

Stabilnost eksploziva. Eksploziv je stabilan kroz kratko vremensko razdoblje. Eksplozivi se tijekom vremena kemijski razgrađuju, što proizvodi toplinu. Njihovo paljenje može biti uzrokovano većom količinom emitirane i prikupljene topline. Nusprodukti razgradnje eksploziva ubrzavaju proces daljnje degradacije. Ovi čimbenici zahtijevaju rutinske testove stabilnosti eksploziva.

Razlog iza eksploziva. Čvrsti i kapljeviti eksplozivi podijeljeni su u sljedeće kategorije na temelju njihove namjene:

- a) Inicijalni eksplozivi. Još su poznati i pod nazivom primarni eksplozivi. Namijenjeni su za aktiviranje neosjetljivih eksploziva. Izvori koji osiguravaju plamen za paljenje tlačnog eksploziva su inicijatorske kapsule ili početnice. Detonatori se koriste za pokretanje razornih eksploziva jer trebaju izvor koji može imati značajan utjecaj.
- b) Aktiviranje eksploziva. U to su uključeni prahovi i raketna goriva dizajnirana za neutralizaciju različitih bojnih glava, raketa, torpeda itd. Najčešće korišteni supresivni eksplozivi koji se danas koriste spadaju u jednu od dvije kategorije, a obje se nazivaju bezdimnim barutom. Želatinizirana nitroceluloza čini prvu skupinu, koja je poznata kao monobazični barut. Druga skupina, koja je poznata kao dibazični barut, sastoji se od nitroceluloze i detonabilnog eksploziva (kao što je nitroglicerol).
- c) Eksplozivi koji uzrokuju štetu. Namijenjeni su za razaranje ciljane lokacije. Uglavnom se koriste za punjenje bojnih glava (npr. RDX i TNT). Nazivaju se i sekundarni eksplozivi.
- d) Pomoćni eksplozivi. U prvom slučaju, dovoljno snažan plamen mora biti proizveden zapaljivim punjenjem kako bi se zapalio tlačni eksploziv. To je pojačivač u drugoj instanci, razorni eksploziv s većom osjetljivošću od prvog razornog punjenja. Da bi pojačivač bio sekundarni eksploziv, važno je osigurati početak neosjetljivog punjenja. Sekundarni eksploziv služi kao primarni razorni naboj kada se pojačivač ne koristi.

Nuklearno oružje i eksploziv. Nuklearni eksplozivi, za razliku od ranijih eksploziva, djeluju destruktivno kroz procese atomske fisije i fuzije, a ne kroz kemijske reakcije. Nuklearnim reakcijama u tim eksplozivima proizvodi se neusporedivo više energije nego kemijskim reakcijama u tradicionalnim eksplozivima. Tako, tijekom eksplozije, jedna kugla urana U-239 veličine šake može proizvesti energiju ekvivalentnu 20.000 tona TNT-a. Radioaktivnost se također čini potencijalnom prijetnjom, uz nuklearne eksplozije.

Procjena rizika od eksploziva. Opasnost od eksplozivnih materijala i predmeta iz skupina 1.1, 1.2 i 1.3 veća je od one iz ostalih skupina. Emblem eksplozivne bombe na njihovim naljepnicama i pamfletima također služi kao daljnji pokazatelj toga. Skupina 1.4 kompatibilna skupina S je najmanje opasna. Čak je i na nekim putničkim brodovima i zrakoplovima legalno prevoziti materijale i predmete koji potpadaju pod ovu kategorizaciju.

Eksplozivni rizici mogu se kategorizirati u dvije kategorije:

- 1) rizici inicijacije uzrokovani padanjem bombi
- 2) prijetnja inicijacije izazvana požarom ili drugim incidentom.

Najveći rizik povezan s pokretnim eksplozivima je mogućnost požara koji uzrokuje eksploziju. Mnogo eksploziva izgori prije nego što detonira. Neki neće ni detonirati. U takvim je situacijama primarna odgovornost zapovjednika intervencije utvrditi vjerojatnost masovne eksplozije, koja može biti iznimno opasna. Mogućnost ovoga ilustrirana je u slučaju elemenata i stvari u skupini 1.5, posebice onih u skupini 1.1. U takvim je okolnostima gašenje požara izuzetno rizično. Nekoliko malih eksplozija uzrokovano je eksplozivima skupine 1.2 u nesrećama. Zbog trenja od hodanja po prosutom materijalu, postoji mogućnost inicijacije ako se eksploziv prospe po tlu. S obzirom na to da takvi eksplozivi postaju sve smrtonosniji kako se natopljeni eksploziv gubi, nužno je potražiti savjet od proizvođača ili pošiljatelja tereta što je prije moguće kada natopljeni eksploziv iscuri. Zbog sposobnosti vode da se hladi, uspješan ishod može se očekivati samo kod gašenja eksplozivnog požara.

Eksplorzive koji nisu izgorjeli vatrom potrebno je ohladiti raspršenom vodom prije nego što se uklone s plamena. Samo u situacijama u kojima je to potrebno i u kojima se smatra da ne postoji neposredna opasnost za vatrogasce, može se odlučiti na takve radnje. Savjetuje se potražiti zaklon unutar zgrada tijekom nesreće kako bi se izbjegle eksplozije. Samo grupa 1.1 može doživjeti teže posljedice od ovog odstupanja zbog urušavanja objekta pod snagom eksplozije.

3.2 Plinovi

Plin je agregatno stanje u kojemu tvar nema stalni oblik ni obujam. U takvom stanju sve molekule tvari imaju dovoljnu unutarnju energiju da se oslobode iz stabilne strukture, pri čemu temperatura mora biti iznad, a tlak ispod kritične vrijednosti. U suprotnom samo neke molekule imaju dovoljnu energiju, pa uz plinovitu postoji i kapljevita ili kruta faza, pa se za takav slučaj obično koristi pojam para. Prethodna definicija točna je pod normalnim uvjetima tlaka od 1000 kPa bara i temperature od 0 °C (ponekad sobne temperature od 25 °C), budući da agregatno stanje tvari ovisi o temperaturi i tlaku na kojima se tvari nalaze. U usporedbi s kapljevinama, a posebno čvrstim tvarima, pokretljivost atoma i molekula u plinu je mnogo veća, kao i njihova međusobna udaljenost. To omogućuje komprimiranje plina, a komprimirani plin se može širiti i raspršiti u okoliš mnogo brže od, na primjer, vodene pare.

3.2.1 Fizikalna svojstva plinova

Stlačivost

Volumen plina se smanjuje kada se komprimira. Kako se zagrijava, temperatura i tlak rastu uz uvjet da je volumen konstantan. Takvo zagrijavanje može uzrokovati daljnje kemijske reakcije koje uključuju reaktivne i nestabilne plinove ili paljenje eksplozivne plinske smjese. Reakcije koje slijede mogu proizvesti više topline, što može dodatno ubrzati reakciju i na kraju dovesti do eksplozije.

Ukapljivanje

Plin se ukapljuje ili prelazi u kapljevito stanje kada se postigne određeni tlak ili temperatura. Plin se hladi dok se širi, što snižava njegov tlak i temperaturu. Svaki plin odlikuje kritičnu temperaturu ukapljivanja koja ga razlikuje (T_c). Pri određenom tlaku plin se može ukapljiti ako mu je temperatura ispod kritične. Svaki plin ima jedinstveni tlak ukapljivanja koji se temelji na njegovim karakteristikama. Bez obzira koliki je tlak primijenjen, ukapljivanje je nemoguće ako je temperatura plina viša od kritične. Drugim riječima, plin se ne može ukapljiti iznad kritične temperature.

Toplinski učinci pri promjenama stanja

Plin se zagrijava kompresijom, a hladi ekspanzijom, kao što je već navedeno. To je osobito vidljivo kada se ukapljeni plin isparava i pretvara u kapljevina. Na primjer, ako se tekući plin rasprši u tijelo kao rezultat njegovog isparavanja, rezultat će biti izuzetno teške ozeblina, također poznate kao hladne opekline.

3.2.2 Podjela plinova

Prema stanju u spremnicima razlikuju se:

- a) Plinovi koji su komprimirani. Plin je u komprimiranom stanju ako mu je temperatura viša od kritične. Tipično se boce sa stlačenim plinom pune do tlaka između 150 i 300 bara (kisik, dušik, argon, helij, vodik...).
- b) Kapljevina ili ukapljeni plinovi. Plin koji je ispod svoje kritične temperature je u kapljevitom stanju (osim u spremnicima gdje nema dovoljno plina za postizanje tlaka ukapljivanja). Spremnik je podijeljen u dvije faze: tekuću fazu na dnu i plinovitu fazu na vrhu. Vrsta plina, a ne njegova količina, određuje tlak u spremniku.
- c) Plinovi otopljeni pod tlakom. Ovi se plinovi nalaze otopljeni u pogodnoj kapljevini (npr. acetilen u acetonu ili amonijak u vodi). Na tlak u boci utječe količina otopljenog plina, kao i temperatura koja utječe na tlak svih plinova.
- d) Kriogeni (pothlađeni) plinovi. Komprimirani plinovi moraju se ohladiti na kritičnu temperaturu ili nižu kako bi se ukapljili. U stvarnosti, hlađenje se odvija do nižih temperatura, tj. vrelišta plina (na primjer, dušik na $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ili kisik na $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$), iz praktičnih razloga. Tlak plina je samo 1,013 bara na vrelištu, što je jednako atmosferskom tlaku zraka. Takvi se plinovi mogu držati u spremnicima do tlaka otvaranja sigurnosnog tlačnog mehanizma pri malo višoj temperaturi i tlaku. Toplinska izolacija, poput vakuumske prostora između stijenki spremnika, usporava zagrijavanje spremnika. Budući da nijedna izolacija nije besprijekorna, plin se postupno zagrijava i razvija viši tlak. Ispuštanjem dijela plina iz spremnika može se spriječiti pretjerano povećanje tlaka.

Prema kemijskim svojstvima razlikuju se:

- a) Zapaljivi plinovi. Plin je zapaljiv ako se može zapaliti na zraku pri normalnoj temperaturi. Za paljenje je potrebno da koncentracija plina u zraku bude dovoljno visoka da može doći do zapaljenja plina i da postoji izvor paljenja ili da kombinacija plinova bude na dovoljno visokoj temperaturi da se sama zapali (vodik, metan, etan, propan, butan, itd.).
- b) Reaktivni plinovi. Reaktivni plinovi su oni koji brzo reagiraju u dodiru s drugim materijalima. Fluor je tipična ilustracija takvog plina. Reagira s gotovo svim organskim i anorganskim tvarima na sobnoj temperaturi uz veliku mogućnost nastanka plamena. Plinovi koji mogu reagirati sami, bez da dođu u kontakt s drugim materijalima ili kemikalijama, također se smatraju reaktivnim plinovima. Ovi plinovi su nestabilni. Zbog toga se ti plinovi ne mogu zapaliti.
- c) Nezapaljivi plinovi. Bez obzira na njihovu koncentraciju u kisiku ili zraku, ti se plinovi ne mogu zapaliti. Neki od njih, međutim, podupiru peckanje i upalu. To su oksidirajući plinovi, odnosno plinovi koji potiču ili ubrzavaju izgaranje drugih tvari i materijala. Inertni plinovi su nezapaljivi plinovi koji ne potiču gorenje (dušik, ugljikov dioksid, argon, helij...).
- d) Otrovnici plinovi. Pojedini plinovi u organizmu izazivaju trovanje. Već kratkotrajno udisanje nekoliko njih (ugljični monoksid, sumporovodik, amonijak, sumporov dioksid, klor...) može dovesti do gubitka svijesti ili drugih negativnih učinaka, uključujući smrt.

3.2.3 Opasnosti od plinova

Plinsko agregatno stanje smatra se opasnijim od krutog i kapljevito. Rad s plinovima povezan je s brojnim izvorima opasnosti koje se praktično mogu razmatrati kroz dvije skupine:

- a) Plinovi u spremniku. U slučaju da nema sigurnosnih mjera za sprječavanje pucanja ventila ili eksplozije spremnika, tlak plina u spremniku će na kraju porasti kao rezultat vanjskog zagrijavanja. Posebna opasnost postoji oko spremnika koji sadrže više ukapljenog plina. Budući da se kapljevina širi kako temperatura raste, što je više plina raspršeno u njima u fazi kapljevine, to je veći rizik. Svako dodatno povećanje temperature, čak i vrlo malo, nakon što kapljevita faza u potpunosti ispuni spremnik rezultirat će značajnim porastom tlaka. Plinske boce predstavljaju značajan rizik od eksplozije u požaru. Hlađenjem spremnika vodom koja se raspršuje odozgo, može se smanjiti tlak plina u spremniku. Imajući na umu da u takvim okolnostima uvijek postoji mogućnost eksplozije.
- b) Curenje plina iz spremnika. Plinovi izlaze iz oštećene opreme i spremnika dok se tlak ne uravnoteži s okolnom atmosferom. Brzina istjecanja ograničena je brzinom zvuka, a pri određenoj (kritičnoj) vrijednosti (Machov broj, $Ma = 1$), povećanje tlaka ne dovodi do povećanja brzine istjecanja. Kada plin izlazi iz spremnika, vrtloži se i difundira te miješa sa zrakom, što može dovesti do sljedećih rizika:
 - Bilo koji plin osim zraka i kisika koji ulazi u prostor istiskuje ili razrjeđuje zrak koji tamo već postoji. Disanje je ugroženo kada razina kisika padne s uobičajenih 21% vol. ispod 14% vol. U tom trenutku vrlo brzo nastupa hipoksija.
 - Otrojni plinovi mogu uzrokovati oštećenje organa, smrt ili privremenu ili trajnu onesposobljenost. Neki plinovi, poput ugljičnog monoksida, koji uzrokuje karboksihemoglobinemiju, sprječavaju spajanje kisika s krvnim stanicama.
 - Zapaljivi plinovi mogu izazvati eksploziju; sve što je potrebno je izvor paljenja.

- Takozvane BLEVE eksplozije mogu se dogoditi ako požar izbije u spremniku koji sadrži hlapljivi ukapljeni plin.
- Hladne opekline, ponekad poznate kao izuzetno teške rane, nastaju izlivanjem kapljevine i pothlađenog plina na kožu.
- Paljenje obližnjeg zapaljivog materijala znatno je potpomognuto istjecanjem plinova koji su snažni oksidansi (kao što je kisik).
- Otkidanje ventila, što se obično događa kada boca padne, rezultira brzim ispuštanjem plina, pretvarajući bocu u projektil. Ovaj rizik je očitiji kada se koriste manje boce koje sadrže plinove pod većim tlakom.

Kada dođe do curenja plina i požara, gašenje plamena bez prethodnog zaustavljanja curenja može imati mnogo gore posljedice jer će se zrak u blizini eksplozivno izmiješati. Velika količina plinova zapaljena u otvorenom prostoru može proizvesti vatrenu kuglu koja emitira toplinu i svjetlost i može nanijeti smrtonosne opekline svemu što joj se nađe na putu. Snažna zračna struja povlači za sobom zapaljiv materijal, spaljuje ga i raspršuje u okolinu dok se vatrena kugla diže i formira oblak gljive.

Najbolji način za zaustavljanje curenja plina je zatvaranje ventila ili korištenje drugih mehanizama za zatvaranje. Sekundarne metode također se mogu koristiti za zaustavljanje manjih curenja. Nakon što je curenje zaustavljeno, prostor je potrebno prozračiti kako bi se količina prisutnog zapaljivog plina smanjila ispod donje granice eksplozivnosti. Pri tome je ključno uzeti u obzir relativne gustoće plinova kao i činjenicu da se teži plinovi skupljaju u nižem prostoru, a lakši plinovi u višem prostoru.

3.2.4 Istjecanje ukapljenih i pothlađenih plinova

Dio ukapljenog plina koji izlazi odmah ispari (tzv. "bljesak" ili isparavanje"). To obično uzrokuje prskanje plina što ima eksplozivna svojstva zbog svoje ekstremne sile. To je posebno vidljivo u slučaju većih curenja, koja se obično događaju kao posljedica značajnog oštećenja i puknuća spremnika plina.

Nakon početnog brzog isparavanja, u kojem se plin hladi do točke vrelišta pod atmosferskim tlakom, isparavanje se usporava i nastavlja sve dok sav plin ne ispari brzinom koja je u skladu s onom na temperaturi vrelišta. Isparavanje se s vremenom

usporava kao rezultat hlađenja okoliša što to je snažno kontrolirano površinom spremnika plina i brzinom vjetra.

Tijekom nekih eksperimenata s amonijakom, brzina isparavanja mogla je doseći samo 0,6 m/s. Tijekom istjecanja stvara se oblak plina. Ovaj se oblak sastoji od puno sitnih kapljica plina (aerosola) koji se polako spuštaju i djelomično ispare, tvoreći bazen neisparenog plina s preostalom kapljevinom. Vrsta plina i početna temperatura na kojoj je plin bio prije istjecanja određuju udio plina koji će trenutno ispariti.

Kod isparavanja plin se hladi. To povećava masu plina u odnosu na zrak, u zatvorenom prostoru, što gotovo uvijek uzrokuje njegovo nakupljanje na dnu prostora. Takav se plin, u pravilu, na kraju diže u više slojeve kao rezultat zagrijavanja okoline tijekom vremena i u skladu s njegovom molekularnom težinom.

Isparavanje se događa i pri istjecanju pothlađenih plinova, ali je osjetno manjeg intenziteta od početnog isparavanja ukapljenih plinova, što je očekivano s obzirom na razliku u početnim temperaturama i tlakovima pothlađenih i ukapljenih plinova. Prskanje vode po površini će uspjeti, ali samo da upije i raširi ispareni plin. Ova metoda posebno dobro funkcionira za plinove poput amonijaka koji su topljivi u vodi.

Plinovi, poput ukapljenog naftnog plina (LPG) koji je teži od zraka, se zbog svoji fizikalno-kemijskih svojstava brzo šire u okolišu i predstavljaju prijetnju velikom području. U situaciji havarije smatra se da je prikladna sigurnosna udaljenost od mjesta curenja LPG-a 300 m. Ako se istjecanje plina ne može zaustaviti, potrebno je posvetiti pozornost njegovom upijanju i raspršivanju. Nakon određenog vremena, plin će se u otvorenom prostoru razrijediti, smanjujući rizik. Srednja pjena može se učinkovito koristiti za kontrolu požara u slučaju požara spremnika plina koji uključuje proliveni LPG i druge tekuće zapaljive plinove u naseljenom području kada vrućina koja nastaje predstavlja dodatnu opasnost. Osim toga, značajan dio topline vatre koristi se za isparavanje vode iz pjene, štiteći okolno područje od pregrijavanja.

3.2.5 Eksplozija spremnika s ukapljenim plinom - BLEVE

Spremnici s tekućim plinovima mogu biti uzročnici velikih eksplozija, što predstavlja ozbiljnu prijetnju ljudima u blizini i vatrogascima. Te su se eksplozije uglavnom dogodile u spremnicima koji sadrže ukapljene plinove koji su zapaljivi. Najčešće

korišteni i transportirani ukapljeni plin je uapljeni naftni plin (LPG), stoga se eksplozija BLEVE-a (Slika 1) najbolje može objasniti na primjeru tog plina:

- LPG je ukapljeni plin koji se primarno sastoji od dva izomera butana i propana. Temperatura i omjer komponenti u smjesi utječu na tlak smjese. U okviru ovog primjera razmotrit će se situacija u kojoj je tlak smjese plina 5 bara. Gornji sigurnosni opružni ventili na LPG spremnicima i cisternama imaju tlak otvaranja od približno 17 bara. Ako plin iscuri iz tih spremnika i zapali se iz bilo kojeg razloga, plamen koji nastane zagrija će spremnik. Ako sigurnosni ventil nije u funkciji, tlak će porasti.
- Budući da plinovita faza ukapljenog plina, u usporedbi s kapljevitom fazom, ima bitno manju moć odvođenja topline sa stijenke, plamen koji zahvati spremnik ima daleko veći učinak na zagrijavanje stijenke koja pripada plinovitoj fazi ukapčjenog plina. Zagrijavanjem stijenka gubi čvrstoću, a zbog velikog pritiska i napetosti materijala dolazi do njezinog cijepanja i naglog otpuštanja, što rezultira isparavanjem i zapaljenjem plina. BLEVE, ili *crack* eksplozija, uzrokovana je zapaljenjem velike količine isteklih plinova.
- Osobe koje se nalaze u blizini ovakvog incidenta će vrlo vjerojatno stradati u vatrenoj kugli koja će uslijediti te zbog pražnjenja komponenata spremnika. Ovisno o veličini i sadržaju spremnika, sigurna udaljenost za osobe koje se nađu u blizini spremnika može biti i nekoliko desetaka metara.
- Čak i u odsutnosti vatre, stijenka spremnika može popucati, na primjer zbog mehaničkog udara ili korozije spremnika. Vjerojatnije je da će se ova opasnost pojaviti u prometnim nesrećama u kojima je slomljena stijenka spremnika. Nije nužno da se eksplozija dogodi odmah. U takvim okolnostima, povećani tlak cisterne uzrokovan zagrijavanjem zbog povećane temperature okoliša može biti presudan u određivanju kada će se dogoditi eksplozija. Tlak i rizik od eksplozije mogu se smanjiti hlađenjem spremnika.



Slika 1: Primjer BLEVE procesa [14]

3.3 Zapaljive kapljevine

Paljenje u kapljevine. Potreban je samo izvor paljenja da bi se neke zapaljive kapljevine ili njihove pare zapalile na sobnoj temperaturi. Ostale zapaljive kapljevine moraju se zagrijati kako bi se stvorile zapaljive pare koje se mogu zapaliti kada su izložene izvoru paljenja. Temperatura plamišta (T) može se koristiti za procjenu vjerojatnosti paljenja kapljevine. Za razliku od kapljevine čija je temperatura plamišta viša od sobne, a koje se moraju zagrijati da bi se zapalile, mogu se paliti kapljevine čija je temperatura plamišta jednaka ili veća od sobne temperature. Na temperaturama neznatno manjim od temperature plamišta, kapljevine koje se rasprše ili cure mogu se zapaliti. Osim takve razlike, treba imati na umu da je temperatura u spremnicima i cisternama često veća od temperature okoline zbog zagrijavanja Sunčevom svjetlošću (insolacija) ili kretanja kapljevine tijekom transporta.

Samopaljenje kapljevine

Bez izvora paljenja, paljenje će se dogoditi ako se smjesa pare zapaljive kapljevine i zraka (oksidans) zagrije na određenu temperaturu. Vrijednost te temperature naziva se temperatura samozapaljenja.

Eksplozija kapljevine

Činjenica da kapljevine isparavaju dobro je poznata. Porast temperature i velike površine kapljevine ubrzavaju isparavanje, što je posebno vidljivo u slučajevima izlivanja.

U zatvorenom okruženju (kao što su spremnici, cisterne, zgrade itd.), isparavanje može stvoriti dovoljno pare koja, kada se pomiješa sa zrakom, stvara zapaljivu smjesu koja, kada se zapali, može eksplodirati, slično kao kod curenja. Budući da generiraju proporcionalno veće količine pare, hlapljive kapljevine, odnosno one s nižim plamištem riskantnije su u tom smislu jer postoji veća šansa da će se eksplozivno spojiti u većem prostoru. Veliki oblaci pare mogu se stvoriti kada se zagrijane ili hlapljive kapljevine proliju na otvorenom prostoru nakon nesreće, a ako se zapale, mogu izazvati jaku eksploziju. Takva eksplozija može imati snagu usporedivu s eksplozivom. Uzrok tome je znatan porast brzine gorenja nastale pare. Brzina gorenja raste od početnih 3-5 m/s do gotovo brzine zvuka. Veća curenja i izlivanja

pothlađenih i ukapljenih plinova potencijalno mogu rezultirati sličnim eksplozijama. Naziv za ovu vrstu eksplozije na otvorenom je eksplozija oblaka pare. Na otvorenom prostoru, pare zapaljive kapljevine mogu se zapaliti pri brzinama detonacije (1,5 do 8 km/s). Obično je za to potreban detonirajući izvor paljenja.

3.3.1 Posebne nesreće izazvane zapaljivim kapljevinama

Osim požara i eksplozija, u vatrogasnim intervencijama (Slikom 2.) sa zapaljivim kapljevinama moguće su i druge opasnosti:

- a) Zakuhanje. U slučaju dugotrajnog požara u spremniku sirove nafte i nekih njenih prerađevina moguće je izuzetno opasno izbacivanje vrućeg sadržaja, poznato kao *boilover* ili ključanje spremnika. Osobe koje su izložene takvoj vrsti vrućih tvari dobivaju izuzetno ozbiljne, potencijalno smrtonosne opekline. Fenomen poznat kao *boilover* teoretski je moguć u slučaju požara u spremniku koji sadrži zapaljive kapljevine kada su zadovoljena sljedeća tri uvjeta: kapljevina je višekomponentna smjesa koja može generirati toplinski val s temperaturom većom od 150 °C tijekom požara; donji dio spremnika sadrži vodu ili emulziju ulja u vodi; dodavanje vodene pare u kapljevinu rezultira čvrstom pjenom. Sirova nafta je idealan primjer kapljevine pri opisivanju procesa isparavanja budući da uključuje puno zapaljivih tvari i ima točku vrenja između 50 i 400 °C. Sadrži male udjele vode, koja se zbog svoje gustoće i nemogućnosti miješanja odvaja na dnu spremnika. Pokrov spremnika sa zatvorenim krovom se odbacuje ili uništava kada se kapljevina zapali nakon eksplozije u plinovitoj fazi, dok pokrov rezervoara s plutajućim krovom tone nakon određenog vremena trajanja požara zbog oštećenja. Toplina nastaje kao rezultat procesa gorenja i djelomično se prenosi na kapljevinu. Ta toplina najviše utječe na isparavanje frakcija lakog ulja koje se dižu na površinu i izgaraju.
- b) *Slopover* ili prelijevanje. Prilikom intervencija na požarima spremnika sa zapaljivim kapljevinama često se koristi voda za hlađenje. Kada voda prodre u spremnike s viskoznom kapljevinom koja je zagrijana na više od 100 °C, naglo isparava, uzrokujući prskanje i prelijevanje vrućeg sadržaja, što dovodi osobe koje se zateknu u blizini u opasnost. Naziv za ovu pojavu je *slopover*. Navedeno

je osobito izraženo pri korištenju većeg mlaza vode jer veća količina voda prodire dublje ispod površine zagrijane kapljevine.

- c) Pjenjenje. Naglo isparavanje vode i povećanje tlaka vodene pare rezultirat će oblikom izbacivanja sadržaja ako se vruće, viskozne tvari uliju u spremnik s vodom. Ta pojava se naziva "stvaranje pjene" i može se opisati kao pjenjenje.



Slika 2: Vatrogasna intervencija pri gorenju zapaljivih kapljevina [14]

3.4 Zapaljive krutine

Zapaljive krutine su tvari u čvrstom agregatnom stanju koje su podložne samozapaljenju te krutine koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove.

3.4.1 Zapaljive krutine

Lako zapaljive krutine su krutine koje se mogu zapaliti uslijed trenja, samoreaktivne kemikalije i neki mokri eksplozivni. Zapaljive krute tvari su praškaste, zrnate ili pastozne tvari koje su opasne jer se lako zapale u kontaktu s izvorom paljenja (kao što je upaljena šibica), a plamen se brzo širi kroz njih. Osim što mogu izazvati požar, ti su spojevi opasni zbog otrovnih nusproizvoda koji mogu nastati njihovim gorenjem. Metalni prah je posebno rizičan jer je požar koji nastaje njegovim gorenjem teško ugastiti, a uz to ga se ne može ugastiti uz pomoć sredstava za gašenje poput ugljičnog dioksida ili vode.

Požari metalnih prahova su izuzetno intenzivni. Takvi požari rezultiraju s nastankom velike količine topline i intenzivne svjetlosti, što može negativno utjecati na vid osoba koje se nađu u blizini. Mali požari metalnih prahova gase se posebnim prahovima za gašenje požara i inertnim materijalima otpornim na toplinu (poput suhog pijeska).

I u odsutnosti kisika ili zraka, samoreaktivni spojevi su termički nestabilni i sklone intenzivnoj egzotermnoj razgradnji. Toplina, kontakt s katalitičkim nečistoćama (kao što su kiseline, kompleksi teških metala i lužine), trenje ili udar mogu uzrokovati razgradnju samoreaktivnih tvari. Temperatura utječe na brzinu razgradnje kao što i vrsta tvari. Kad se samoreaktivni spojevi raspadnu, osobito u procesima u kojima je odsutan plamen, može nastati znatna količina (otrovnih) para. Određene samoreaktivne spojeve potrebno je razrijediti ili pohraniti u posebno izrađenu ambalažu jer mogu eksplodirati prilikom raspadanja, posebno kada su u zatvorenom prostoru. Neki spojevi koji reagiraju sami sa sobom mogu vrlo brzo izgorjeti.

U samoreaktivne tvari ubrajaju se spojevi kao što su oni navedeni u Tablici 14.

Tablica 14: Samoreaktivne tvari [15]

Alifatski azo spojevi	-C-N=N-C-
Organski azidi	-C-N ₂
Diazonijske soli	-C-N ₂ +Z-
N-nitrozo spojevi	-N-N=O
Aromatski sulfohidrazidi	-SO ₂ -NH-NH ₂

Najbolja metoda za gašenje požara i sprječavanje neželjenih reakcija samoreaktivnih tvari je brzo hlađenje s puno vode. Mokre krute tvari je potrebno ponovno namočiti jer mogu eksplodirati ako se osuše. Za gašenje većih požara tih materijala, koji mogu biti izrazito intenzivni, koristi se vodeni sprej. Iako reakcija na vodu povremeno može biti prilično jaka, željeni ishod može se postići s dovoljno vode. Ostale tvari koje se mogu zapaliti uključuju one koje nastaju tijekom proizvodnje gume, nitroceluloznih membranskih filtara, naftalena, fosfora, sumpora, zapaljivih metalnih hidrida itd.

Praćenje temperature

Važno je paziti na temperaturu pri transportu samoreaktivnih materijala čija je temperatura samoubranog raspadanja (TSUR ili SADT) jednaka ili niža 55 °C. Dvije temperaturne veličine definirane su u odnosu na TSUR:

- Opasna temperatura je temperatura pri kojoj se moraju odmah poduzeti sigurnosne mjere nakon što samoreaktivnoj tvar počne rasti temperatura.
- Kontrolna temperatura je najveća temperatura pri kojoj se samoreaktivna tvar može sigurno prevoziti.

3.4.2 Tvari podložne samozapaljenju

Neki spojevi mogu na sobnoj temperaturi lako reagirati s kisikom iz zraka, čak do točke u kojoj može doći do povećanog samozagrijavanja i samozapaljenja. U isto vrijeme, ključno je napomenuti da kao rezultat kemijskih procesa može nastati veća količina topline nego što ju je tehničkim mjerama moguće odvesti iz prostora u kojem se proces odvija. Kada materijal dosegne temperaturu pri kojoj se samozapaljuje, dolazi do nastanka veće količine topline i stvaranja plamena. Neka nitrocelulozna plastika, suhi bijeli fosfor, kalijevi i natrijevi sulfidi, prašina cirkonija, hafnija i titanija, kao i alkali litija, aluminija i magnezija neke su od krutina koje se mogu samozapaliti.

Samozapaljive kemikalije mogu biti vrlo vruće. Manji požari takvih tvari mogu se gasiti inertnim materijalima. U slučaju većih požara potrebno je sniziti temperaturu tvari, što zahtijeva raspršenu vodu. Ambalažu i posude koje nisu na putu požara potrebno je ohladiti jer toplina potiče njihovo zapaljenje.

3.4.3 Tvari koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive plinove

Neke tvari kada dođu u dodir s vodom mogu proizvesti eksplozivnu smjesu u prisutnosti zraka. Uobičajeni izvori paljenja, poput otvorenog plamena, alata koji iskri i izloženih rasvjetnih tijela, mogu uzrokovati brzo zapaljenje takvih smjesa. Klorosilani, natrij, kalij, rubidij, barij, kalcij, aluminij, cink i magnezij u prahu, hidridi kalcija, litija i drugih metala te fosfidi kalcija, aluminija, magnezija i drugih metala su među tvarima koje kada dođu u dodir s vodom daju zapaljive plinove.

Zbog toga se pri radu s tim tvarima mora izbjegavati kontakt s vodom te s kemikalijama koje reagiraju na vodu. Te tvari treba sakupljati iz suhih, inertnih materijala, a plamen gasiti samo suhim metodama.

3.5 Otrovnost i infektivne tvari

3.5.1 Otrovnost tvari

Otrovne tvari oštećuju stanice ili stvaraju ozbiljne metaboličke promjene u tijelu (karcinogene, mutagene i teratogene) kada uđu u tijelo [8].

U suštini, sve tvari su otrovne. Kako bi se poremetili fiziološki procesi u organizmu, dovoljno je unijeti dovoljnu količinu (dozu) ili biti izložen djelovanju određenim tvarima dulje vrijeme. Načini ulaska štetnih tvari u organizam mogu biti: udisanje (inhalacija), gutanje (ingestija) i upijanje kroz kožu.

Akutno trovanje je oblik trovanja koje rezultira trenutačnim, teškim oštećenjem stanica, bolešću organa ili smrću kao posljedicom izlaganja kemikalijama. Najčešće korištena mjera za izražavanje akutne toksičnosti je LD₅₀. Ta vrijednost se temelji na koncentraciji tvari koja je potrebna za brzo i sigurno ubijanje polovice (50%) testiranih laboratorijskih životinja pod kontroliranim okolnostima (Tablica 15). Najčešće se izražava u mg tvari po kg tjelesne mase.

Tablica 15: Vrijednosti LD₅₀ za neke tvari [17]

Tvar	LD ₅₀ (mg/kg)
etanol	13700
anilin	440
DDT	200
nikotin	50
TCDD	0,01

Podatke o toksičnosti određenih kemikalija treba pažljivo tumačiti i zbog toga je nužno potražiti savjet kvalificiranih toksikologa za točnu procjenu svake prijetnje. Pesticide treba prepoznati kao štetna sredstva koja se široko koriste u relativno značajnim količinama i svi pesticidi otrovni su za živa bića. Kada se dogodi požar i gore pesticidi požari mogu biti jako opasni i potrebna je obavezna zaštita dišnih organa kao što su izolacijski aparati na stlačeni zrak, a u nekim slučajevima dolazi i do živčanih otrova.

Neke otrovne pare otrovnih kapljevina također se mogu zapaliti. Pri vrlo niskim koncentracijama (već kod 1 ppm) trovanje predstavlja rizik koji može dovesti do smrti. Donja granica eksplozivnosti za pare prolivenih opasnih i zapaljivih kapljevina obično je iznad 1% vol. Prolivene otrovne kapljevine najbolje je prekriti pjenom kako bi se spriječilo njihovo isparavanje.

3.5.2 Infektivne tvari

Infekcija je uzrokovana uzročnicima infekcije. Može se definirati kao rast invazivnih patogenih živih mikroorganizama koji oštećuju ili zaraze drugi organizam. U prošlosti su uzročnici infekcija bili odgovorni za brojne epidemije i bolesti s visokom stopom smrtnosti, poput trbušnog tifusa i žljezdane kuge. Spore bedrenice potencijalna su prijetnja koje teroristi mogu koristiti kao oružje za masovno uništenje.

Bolesti ljudi kao što su bjesnoća, hepatitis, tetanus, salmoneloza, gastroenteritis, kolera, dizenterija itd. uzrokovane su raznim mikroorganizmima (bakterije, virusi, gljivice, protozoe itd.) i one kod ljudi izazivaju različite infekcije.

Ako invazivna bakterija uspije ući u novi organizam kako bi se na njega prilagodila, dolazi do infekcije i u današnje vrijeme medicina je razvila učinkovitu borbu protiv ovih bolesti.

3.6 Radioaktivni materijali

Prirodna [10] pojava povezana s energetsom nestabilnošću atomske jezgre je pojava radioaktivnosti. Radioaktivni raspad je proces kojim nuklearna jezgra prelazi iz energetski nestabilnog u stabilnije stanje. Zračenje je izraz koji se koristi za opisivanje istovremenog oslobađanja energije i/ili čestica koje odgovaraju radioaktivnom raspadu. Radioaktivni materijali ili radioaktivne kemikalije uključene u njih emitiraju energiju koja može modificirati kemijski sastav tkiva, što dovodi do raznih negativnih učinaka na ljudsko tijelo. Ionizirajuće zračenje, kao što mu samo ime govori, uzrokuje ionizaciju atoma i molekula i također je štetno za ljudsko zdravlje.

Svaki element koji se nalazi u prirodi s rednim brojem većim od 83 (bizmut) po prirodi je radioaktivan. Primordijalni radionuklidi (U-238, U-235, Th-232, Rb-87, K-40) prirodni su radionuklidi koji su nastali zajedno s drugim elementima bilo tijekom početka svemira ili kasnije te su sastavni dio Zemljine kore od njenog nastanka. Kozmogene radionuklide, poput H-3, Be-7, Be-10, C-14 i Na-22, kontinuirano stvara priroda kada kozmičko zračenje stupa u interakciju s atomskim jezgrama iz atmosfere. Ljudske aktivnosti pretvorile su prirodne nuklide u umjetne radionuklide kroz različite nuklearne procese. Brojni nuklearni reaktori, jaki izvori nabijenih čestica (razni akceleratori) i nuklearni pokusi (atmosferski ili podzemni) glavni su izvori umjetnih radionuklida (Eu-152, Cs-137, J-131, Sr-90, Co-50, itd.).

3.6.1 Vrste radioaktivnog zračenja

Prijelazi u stabilnija, tj. niža energetska stanja atomskih jezgri odvijaju se spontanom fizijom te alfa, beta ili gama radioaktivnim raspadom. Jezgra atoma prelazi u stabilnije stanje uz emisiju odgovarajućih čestica tijekom alfa, beta i spontane fizije. Za razliku od njih, gama raspad je popraćen samo emisijom gama kvanta (fotona), koja se javlja kao rezultat energetskog prijelaza jezgre iz pobuđenog u stanje smanjene energije. Ako su energije koje emitiraju atomi rezultat prijelaza elektrona iz pobuđenih stanja u njihova osnovna energetska stanja, tj. energija se emitira iz elektronskog oblaka, tada govorimo o X-zračenju.

Alfa raspad (α). Alfa raspad nuklida događa se kada se nestabilna jezgra pretvori u stabilniju jezgru izbacivanjem dva para protona i neutrona (jezgra helija).

Stoga je emisija čestica koje odgovaraju pozitivno nabijenim ionima helija (He^{2+}) poznata kao alfa zračenje. Iako su prodiranje i domet mali, alfa raspad ima snažan ionizirajući učinak. Povezano zračenje ne može prodrijeti kroz kožu i može se zaustaviti jednostavnim komadom papira. Kada tvar koja proizvodi tu vrstu zračenja uđe u tijelo, bilo hranom ili pićem, ili kroz ranu na koži, postaje izuzetno smrtonosna. Rn-222, Po-218, U-238, Ra-226 i Th-232 primjeri su poznatih alfa emitera.

Beta raspad (B). Kada nestabilna jezgra stupa u interakciju sa stabilnijom jezgrom, dolazi do beta raspada, koji oslobađa pozitivan (pozitron) ili negativan jedinični električni naboj (elektron) iz jezgre ili, ako je jedan od orbitalnih elektrona zarobljen, neutrino. Beta raspad se može dogoditi kao zarobljavanje elektrona (EZ), beta-plus (β^+) ili beta-minus (β^-). Emisija elektrona (β^- -raspad), pozitrona (β^+ raspad) ili neutrina (hvatanje elektrona) tri su glavne vrste beta zračenja. U usporedbi s alfa zračenjem beta zračenje prodire dalje i ima širi domet, ali mu je ionizacijska moć manja. Za presretanje beta zračenja potrebna je jača barijera, poput sloja aluminija debljine 2-3 mm. Tek kada izvor zračenja uđe u tijelo, može se tvrditi da i on predstavlja veliki rizik. Sr-90, Th-234, Po-234, Pb-210, Pb-212, Bi-214 i K-40 primjeri su dobro poznatih beta emitera.

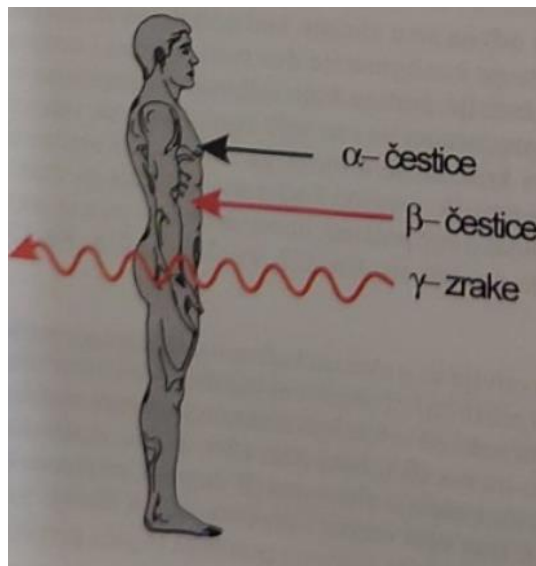
Gama raspad (γ). Gama raspad, za razliku od prethodnih, opisuje emisiju fotona kao rezultat prijelaza jezgre iz pobuđenog u osnovno stanje. Gama zrake su elektromagnetski valovi (fotoni), a ne čestice, i kreću se brzinom od $3 \cdot 10^8$ m/s, odnosno približno brzinom svjetlosti. Ovo zračenje obično ima znatno nižu energiju od alfa zračenja, ali mnogo širi raspon i dubinu prodiranja. Za njegovo zaustavljanje (za X-zračenje ili zračenje) potrebne su komponente velike atomske mase (npr. debeli olovni blokovi) ili betonski zidovi debeli nekoliko metara. Gama zračenje može biti opasno čak i na udaljenostima od nekoliko stotina metara (ili možda više od tisuću metara u slučaju posebno snažnih izvora) bez odgovarajuće zaštite. Bi-214, Eu-152, Co-60, Zn-65, Cs-137, J-131 i drugi radioaktivni elementi poznati su gama emiteri.

Gama zračenje ima kumulativno štetno djelovanje na žive stanice, a dugotrajna izloženost slabijem izvoru zračenja može imati učinke slične onima kod kratkotrajne izloženosti jačem izvoru. Drugim riječima, u svrhu sprječavanja predoziranja u određenom vremenskom razdoblju potrebno je evidentirati podatke o ukupnoj količini primljenog gama zračenja tijekom aktivnosti i intervencija kojima su ljudi izloženi.

Nekontrolirana fisija

Nekontrolirana fisija je proces odvajanja dva teža produkta fisije (U-235 i Pu-239) od teških fisijskih jezgri. Proces je popraćen emisijom neutrona različitih brzina i pripadajućim gama zračenjem; vrlo rijetko, povremeno se oslobađaju i alfa čestice.

Ključno je spomenuti neutronske zračenje koje se sastoji od električki neutralnih neutrona, uz prethodno navedena prirodna zračenja. Nuklearni reaktori i neutronske bombe dva su izvora ovog zračenja koja su vrlo moćna. Prodire duboko u tijelo, baš kao i gama zračenje, te alfa, beta i gama zračenje (Slika 3) pokazuju moć prodiranja kroz tkivo i materijale.



Slika 3: Prodornost pojedinih vrsta radioaktivnog zračenja [10]

3.6.2 Radijacijske veličine i mjerne jedinice

Aktivnost izvora

Aktivnost radioaktivnog izvora je brzina kojom se jezgre radioaktivnih atoma raspadaju. Jedinica za aktivnost radioaktivnog izvora je bekerel (Bq), i s ovom veličinom se izražava radioaktivni raspad. Jedan bekerel odgovara jednom raspadu koji se odvija u radioaktivnom izvoru svake sekunde.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ raspad/s}$$

Specifična aktivnost izvora - broj atomskih jezgri u raspadu radioaktivnog materijala po jedinici mase (Bq/kg) ili volumena (Bq/m³) je definicija. Veća radioaktivnost ne znači uvijek i veću masu izvora radioaktivnog zračenja.

Apsorbirana doza. Snaga koju ionizirajuće zračenje daje jedinici mase stvari. Gray (Gy) je SI jedinica povezana s dozom.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Ekvivalent doze zračenja. Neke vrste zračenja potrebno je pomnožiti faktorom "kvalitete" jer različiti oblici zračenja iste energije nemaju iste biološki štetne posljedice. Alfa i neutronska zračenja imaju faktor do 20, dok beta i fotonsko zračenje (gama i X) imaju faktor 1. To ukazuje da u usporedbi s beta i gama zračenjem, koja imaju ekvivalentne energije, alfa zračenje može imati do 20 puta teže učinke koji. Sivert (Sv) je mjerna jedinica za ekvivalentnu dozu zračenja.

3.6.3 Djelovanje na čovjeka

Čovjek prima u prosjeku 2,6 mSv prirodnog zračenja godišnje sa Zemlje i iz svemira [12], uključujući i dozu od plemenitog plina radona (Rn-222) i produkata njegova raspada. Tipična doza rendgenskog zračenja je, na primjer, 0,2 mSv. Prosječna godišnja granična doza profesionalne izloženosti zračenju u razdoblju od pet godina iznosi 100 mSv, s tim da ta količina prema osnovnim sigurnosnim standardima (BSS27) ne smije premašiti 50 mSv niti jedne godine. Granica izloženosti stanovništva, koja isključuje prirodnu dozu, iznosi 1 mSv godišnje (ili 5 mSv u 5 godina). Smatra se da ljudsko tijelo podnosi takve razine, a promjene u živom tkivu se počinju događati pri većim dozama (Tablica 16).

Tablica 16: Djelovanje radijacije na čovjeka [23]

Doza	Posljedice
0,3-0,7 Sv	Tijekom 6-12 h: nezamjetljive posljedice ili blaža glavobolja ili mučnina; veće doze izazivaju povraćanje kod 5 % osoba. Tijekom 24 h dolazi do blagog smanjivanja broja limfocita. Očekuje se potpuni oporavak.
0,7-1,5 Sv	Tijekom 2-20 h: blaža prolazna mučnina i povraćanje kod 5-30 % osoba. Moguća potreba za dužim oporavkom, manje kliničke posljedice. Umjereni pad broja lim- focita, trombocita i granulocita. Povećana osjetljivost na razvoj patogenih mikroor- ganizama (infekcije). Očekuje se potpuni oporavak.

1,5-3 Sv

Tijekom 2 h do 3 dana: prolazna do umjerena mučnina te povraćanje kod 20-70 % slučajeva; blaga do umjerena slabost kod 25-60 % slučajeva. Tijekom 3-5 tjedana: potrebna medicinska njega kod 10-50 % slučajeva. Pri većim dozama smrtnost moguća kod najviše 10 % slučajeva. Očekuju se zdravstvene poteškoće kao što su infekcija, krvarenje i groznica. Ozljede i opekline značajno povećavaju smrtnost.

3-5,3 Sv

Tijekom 2 h do 3 dana: prolazna do umjerena mučnina te povraćanje kod 50-90 % slučajeva; blaga do umjerena slabost kod 50-90 % slučajeva. Tijekom 2-5 tjedana: potrebna medicinska njega kod 10-80 % slučajeva. Pri manjim dozama smrtnost manja od 10 %; pri većim dozama smrtnost može premašiti 50 %. Očekuju se zdravstvene poteškoće uslijed proljeva, anoreksije, povećanog gubitka tekućine, ulceracije (nastajanja čireva i stvaranja gnoja pod kožom). Povećana osjetljivost na infekciju uslijed slabljenja imuniteta: Umjereni do jaki pad broja limfocita. Opadanje kose nakon 14 dana.

5,3-8,3 Sv Tijekom 2 h do 2 dana: umjerena do jaka mučnina te povraćanje kod 80-100 % slučajeva; Tijekom 2 h do 6 tjedana: umjerena do jaka slabost kod 90-100 % slučajeva; Tijekom 10 dana do 5 tjedana: potrebna medicinska njega kod 50-100 % slučajeva. Pri manjim dozama smrtnost može biti veća od 50 % nakon 6 tjedana. Pri većim dozama smrtnost može biti 99 %-tna. Očekuju se zdravstvene poteškoće uključujući patogene i druge infekcije, krvarenja, groznice, gubitak teka, ulceraciju, krv u proljevu, velike izmjene tekućine i elektrolita, kapilarna krvarenja, smanjene krvnog tlaka. U slučaju bilo koje fizičke ozljede, gotovo nitko ne preživi.

>8,3 Sv Tijekom 30 min do 2 dana: jaka mučnina, povraćanje, slabost, nesvjestica, gubitak orijentacije; umjerena do jaka neuravnoteženost tekućine i glavobolja. Tijekom nekoliko dana potpuno uništenje koštane srži. Simptomi središnjeg živčanog sustava(tzv. CNS simptomi) prevladavaju kod većih zračenja. Rijetki prežive unatoč brzo pruženoj medicinskoj pomoći.

Količina primljenog zračenja povećava se s duljinom vremena provedenog u području izloženom radioaktivnom zračenju. Kao rezultat toga, primljena doza se udvostručuje kada se vrijeme izlaganja udvostruči.

Intenzitet zračenja opada s kvadratom udaljenosti, a taj pad intenziteta još više dolazi do izražaja međudjelovanjem zraka (putem raspršenja i apsorpcije), te je smanjenje intenziteta zračenja još izraženije. Tako, primjerice, osoba koja je udaljena 1 m od izvora zračenja primi 16 puta veću dozu od osobe koja je udaljena 4 m. U slučaju požara (kao što je bio onaj u Cernobylyu) posebno je bitno spriječiti širenje požara i drugih radioaktivnih čestica u okoliš tijekom intervencija jer ih vjetar može prenijeti stotinama kilometara daleko. Budući da su to temeljne ideje na kojima se temelji sigurnost u nesrećama s radioaktivnim materijalima, svaki interventni radnik treba biti svjestan ovih utjecaja, kao i nužnosti osobne zaštitne opreme i kontinuiranog mjerenja doze zračenja.

Analiza opasnosti. Smatra se da su površinski kontaminirani predmeti iz skupine SCO-I i materijali niske specifične aktivnosti iz skupine LSA-1 relativno sigurni. Ne postoji mogućnost njihovog nakupljanja u tijelu do te mjere da bi to predstavljalo značajan rizik od unutarnjeg zračenja u okolnostima koje se očekuju tijekom putovanja. Stoga je pod određenim okolnostima moguće da se ti materijali transportiraju nezapakirani. Materijali skupine LSA-II i LSA-III niske specifične aktivnosti i objekti skupine SCO-II visoke specifične aktivnosti i kontrasta površinske kontaminacije i predstavlja veći rizik od zračenja, te zahtijeva prikladno i sigurno pakiranje. Prijevoz materijala srednje radioaktivnosti zahtijeva pakiranje klase A, te moraju biti konstruirani na način da se sadržaj ne rasprši u uobičajenim okolnostima rukovanja i transporta. Materijali veće radioaktivnosti transportiraju se u ambalaži tipa B, koja je konstruirana na način da sprječava raspršivanje sadržaja čak i u slučaju veće nesreće, poput požara.

3.7 Korozivne tvari

Ako se nagrizajuće tvari proliju po tijelu, udišu ili progutaju, postoji opasnost od nagrizanja kože, sluznice, očiju i drugih dijelova tijela. Ozljeđe koje prvenstveno nastaju djelovanjem nagrizajućih tvari nazivamo kemijskim opeklinama.

Osim što blago nagrizaju metale, korozivne kemikalije u reakcijama u kojima sudjeluju mogu proizvoditi vodik, zapaljivi plin koji povećava rizik od požara i eksplozije. Korozivni spojevi također nagrizaju različite predmete, što može predstavljati problem u proizvodnim djelatnostima ako se koristite pogrešni alati. Posebni nehrđajući čelici su često potrebni kada su u pitanju metali da ne bi došlo do požara ili eksplozije.

Razne kiseline i lužine su korozivna sredstva. Među snažnim kiselinama ističu se anorganske kiseline, kao što su sumporna (H_2SO_4), klorovodična (HCl), dušična (HNO_3) i perklorna kiselina (HClO_4). Primjeri slabijih kiselina koje mogu imati korozivno djelovanje uključuju fluorovodičnu kiselinu (HF) i fosforu kiselinu (H_3PO_4).

Općenito, organske kiseline kao što su propionska ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$), mravlja (HCOOH) i octena (CH_3COOH) kiselina su slabije od anorganskih kiselina. Kalijev hidroksid (KOH) i natrijev hidroksid (NaOH) dva su primjera snažnih lužina, dok je slaba lužina vodena otopina amonijaka (NH_4OH).

Daljnje opasnosti. Toplina se stvara kada se kiseline i baze razrijede vodom. To povremeno može uzrokovati prskanje, primjerice pri korištenju sumporne kiseline.

Ako je potrebno kiselinu razrijediti dodavanjem vode kod toga procesa oslobađa se toplina i treba se voditi računa o temperaturi kiseline, te se kiselina se uvijek dodaje u vodu, a ne obratno uz oprezno mješanje. Na primjer, dimljenje sumporne kiseline (oleum) uzrokuje proizvodnju otrovnog plina sumpor trioksid (SO_3). Čista dušična kiselina polako se raspada tijekom vremena, oslobađajući dušikov dioksid (NO_2), još jedan otrovni plin. Kada voda dođe u dodir s tim kiselinama stvara se toplina, što još više potiče oslobađanje plinova.

Kao izrazito otrovna ističe se fluorovodična kiselina. Brzo se upija u kožu, no u početku se možda neće primijetiti, a štetni učinci pojavljuju se kasnije. Lužine

neutraliziraju kiseline, i obrnuto, kiseline neutraliziraju lužine. Kao rezultat tih reakcija nastaju soli i voda koje mogu negativno utjecati na okoliš, te toplina. Korozivne tvari koje su iscurile ili se prolile treba skupljati u posebne spremnike koji su dizajnirani da izdrže njihovo djelovanje. Ostaci tih tvari mogu se neutralizirati ili ukloniti vodom. Neutralizacijom kiselina i lužina koje su dospjele u okoliš nastaju tvari koje su u pravilu manje štetne za okoliš.

4 Označavanje opasnih tvari

Različite vrste paketa, spremnika, spremnika i drugih oblika pakiranja koji sadrže pakirane ili nezapakirane opasne spojeve, kao i način prijevoza koji se koristi za njihov prijenos, zahtijevaju jedinstvene znakove koji označavaju sadržaj [4]. Kako bi se spriječile nesreće i olakšali interventni procesi, označavanjem se želi skrenuti pozornost na postojanje opasnih spojeva, njihove vrste i stupnjeve opasnosti.

U tekstu koji slijedi navedeno je nekoliko smjernica za označavanje opasnih materijala u skladu s "Preporukama Ujedinjenih naroda o prijevozu opasnih materijala". U nekim međunarodnim sporazumima o prijevozu opasnih proizvoda mogu postojati određene specifičnosti.

4.1 Natpisi i simboli

Uz izuzetak rijetkih slučajeva, svaki paket koji sadrži opasnu robu označen je odgovarajućim UN brojem i ispravnim tranzitnim nazivom tvari. Natpis se ističe izravno na nezapakiranim proizvodima ili na njihovim nosačima, koji su alati koji se koriste za rukovanje, skladištenje ili izbacivanje.

Naljepnica na pakiranju za kiselu, organsku, korozivnu kapljevinu (kapilni klorid) je UN 3265.30. Ambalaža s oznakom "SALVAGE" označava posebnu ambalažu koja se koristi za prijevoz, obradu ili odlaganje opasnih materijala, neispravnu ili nepropusnu ambalažu ili prolivene ili opasne materijale koji su iscurili. Natpisi su istaknuti na dvije međusobno isključive strane srednjih posuda zapremine veće od 450 L.

4.2 Etikete

Upozorenja o opasnosti također su istaknuta na ambalaži za opasne materijale. Ta upozorenja ističu primarnu opasnost kao i sve potencijalne sekundarne opasnosti. Glavni rizik povezan je s razredom ili skupinom kojoj štetna tvar pripada, a postoje i drugi rizici povezani s klasama ili skupinama kojima navedena tvar ne pripada, ali za koje pokazuje važna svojstva. Spremnici srednje veličine obujma većeg od 450 L moraju imati naljepnice s dvije strane koje se međusobno isključuju. Dodatne oznake ili simboli mogu se koristiti za označavanje mjera koje treba poduzeti prilikom rukovanja ili skladištenja opasnih tvari uz oznake opasnosti. Emblem kišobrana, na primjer, označava da paket treba biti suh.

Za razred 7:

Svaki paket, omotni paket i teretni kontejner koji sadrži radioaktivni materijal mora imati dvije naljepnice koje odgovaraju modelu 7A, 7B ili 7C, ovisno o kategoriji. Dodatna oznaka u skladu s modelom 7E podcrtana je ako je materijal fisijske prirode. Prema modelu 7A, 7B ili 7C, sljedeći detalji su podvučeni na svakoj naljepnici:

Sadržaj:

- Ime ili imena radionuklida. Nakon imena ističe se i pripadajuća grupa: LSA- II, LSAlII, SCO-I ili SCO-II;
- Za LSA-I materijal ističe se samo oznaka LSA-I; isticanje imena radionuklida nije neophodno.

Ističe se radioaktivna komponenta s najvećom aktivnošću tijekom transporta (Bq). Masa fisijskog materijala (g) za fisijski materijal na mjestu djelovanja može se istaknuti.

U područjima predviđenim za sadržaj i aktivnost na omotima i teretnim kontejnerima označen je ukupan sadržaj, osim pakiranja koje sadrži mješavinu radionuklida, u kojem slučaju se na tom mjestu može istaknuti izraz "Vidi transportne dokumente".

Prijevozni indeks (nije potreban za kategoriju 1-BIJELO)

Na etiketi prema modelu 7E ističe se indeks kritične sigurnosti prema potvrdi kojom su posebna pošiljka ili dizajn ambalaže odobreni od nadležnog tijela (Slika 4).



Slika 4: Izgled etiketa opasnih tvari [4]

4.3 Listice i oznaka prijevoznih sredstava

4.3.1 Listice

Za prijevoz opasnih tvari koriste se cisterne, cestovna teretna vozila, vagoni cisterne, teretni vagoni, razne vrste teretnih cisterni i prijenosna sredstva prijevoza. Listice ističu primarnu prijetnju tereta unutar vozila, s izuzetkom:

- prijevoza opasnih tvari iz dvije ili više skupina iz razreda 1, kada je istaknuta lista za skupinu s najvećom opasnošću;
- pri prijevozu eksplozivnih tvari iz skupine 1.4 kompatibilne skupine S opasne tvari pakirane u ograničenim količinama te izuzeta pakiranja radioaktivnog materijala kada popisi nisu potrebni.

Osim kada dodatna opasnost ne služi kao glavna opasnost za neki drugi dio tereta, popisi dodatnih opasnosti podcrtani su uz popise većih opasnosti. Metode transporta moraju biti označene s najmanje dvije listice postavljene na suprotnim stranama. Ako je vozilo podijeljeno u brojne odjeljke, od kojih svaki sadrži različite štetne tvari, tada je za svaki odjeljak potreban listica.

Za razred 7:

Tanker i veliki teretni kontejneri koji služe za prijenos ambalaže (osim onih koji su izuzeti) moraju imati četiri lima prema modelu 7D koji su pozicionirani na raznim stranicama. Mogu se koristiti naljepnice koje su iste veličine kao i listovi umjesto da se koriste naljepnice i listovi zajedno.

Prijevoz zapakiranih proizvoda, teretnih kontejnera s naljepnicama ili pošiljaka pod isključivom uporabom zahtijeva od željezničkih i cestovnih vozila izdavanje ispisnice prema modelu 7D i to na:

- obje strane željezničkih vagona;
- obje strane i straga na cestovnim vozilima.

Limovi se postavljaju direktno na teretni kontejner za kamione bez stranica. Navlake su primjerene za pokrivanje velikih spremnika i kontejnera za teret; umjesto njih mogu se koristiti manje ploče, do veličine od 100 mm, ako nema dovoljno mjesta za veće.

Specifikacije za listice (osim za razred 7):

- veličina ne manja od 25 x 25 cm
- boja i simbol moraju odgovarati etiketi opasnosti
- moraju imati istaknut broj razreda ili skupine (za tvari iz razreda 1 i slovo kompatibilne grupe).

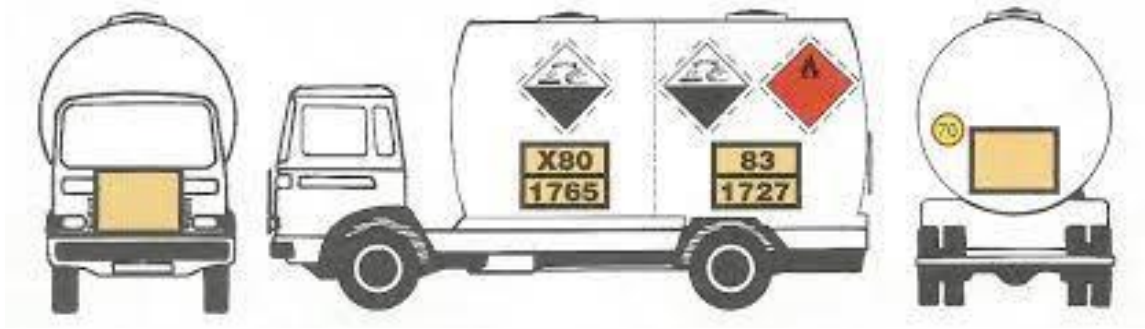
4.3.2 Oznake

UN broj je istaknut na prijevoznom sredstvu (Slika 5), uz tvari iz klase 1, za sljedeće tvari:

- Krute tvari, kapljevine ili plinove koji se prevoze u cisternama, u svim svojim odjeljcima s različitim komponentama;
- jednovrsno pakirani štetni lijekovi;
- zapakirana radioaktivna tvar s jednim UN brojem pod isključivom uporabom, u ili na vozilu ili u kontejneru za teret;
- nezapakirani LSA-I ili SCO-I materijali klase 7, u ili na vozilu ili u teretnom tanku.

UN-broj se ističe na bijeloj pozadini na donjoj polovici listice ili na narančastom pravokutniku koji se nalazi neposredno uz listicu.

Na prijezovnim sredstvima u kojima se nalaze tvari u kapljevitom stanju na temperaturi od 100 °C ili višoj, ili u krutom stanju na temperaturi od 240 °C ili višoj, na objema stranama i odzada ističe se oznaka trokuta sa simbolom termometra. Duljina stranice trokuta iznosi najmanje 25 cm.



Slika 5: Primjer postavljanja listice na vozilu [10]

4.4 Dodatne oznake prema pojedinim međunarodnim propisima

4.4.1 Oznake prema ADR-u

Narančaste oznake na pločici [5]. Europski ADR (Sporazum o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tvari) zahtijeva ugradnju dviju pravokutnih, narančasto obojenih, crno obrubljenih reflektirajućih ploča koje mjere 40 cm duljine i 30 cm širine. Prednja ploča i stražnja ploča vozila koriste se za ugradnju ploča. Ploče se mogu obojiti ili zamijeniti naljepnicama na spremnicima za rasuti teret i spremnicima za prolijevanje, spremnicima plinskih boca, prijenosnim spremnicima.

Identifikacijski kodovi za opasnosti. Ovi dvoznamenkasti ili troznamenkasti brojevi predstavljaju opasnosti opisane u Tablici 17.

Tablica 17: Identifikacijski kodovi [20]

2	Ispuštanje plina uslijed tlaka ili kemijske reakcije
3	Zapaljenje tekućina (para) i plinova ili samozagrijavajuća tekućina
4	Zapaljenje krutina ili samozagrijavajuća krutina
5	Oksidacijsko (vatropojačavajuće) djelovanje
6	Otrovanje ili opasnost od zaraze (infekcije)
7	Radioaktivnost
8	Nagrizajuće djelovanje
9	Opasnost od spontane žestoke reakcije

Ekstremna opasnost označena je ponovljenim znamenkama. Kada se rizik može opisati samo jednim brojem, drugi broj je nula. Identifikacijski broj opasnosti s X ispred njega označava da predmetni materijal burno reagira s vodom i da se u ovoj situaciji smije koristiti samo uz odobrenje stručnjaka (Tablica 18).

Tablica 18: Oznake opasnih tvari prema ADR-u [20]

Broj	Značenje
20	Zagušujući plin ili plin bez dodatnih opasnosti
22	Pothlađeni ukapljeni plin, zagušujući
223	Pothlađeni ukapljeni plin, zapaljiv
225	Pothlađeni ukapljeni plin, oksidacijski (pojačava požar)
23	Zapaljiv plin
238	Zapaljiv plin, nagrizajući
239	Zapaljiv plin, može spontano dovesti do burne reakcije
25	Oksidacijski plin (pojačava požar)
26	Otrovni plin
263	Otrovni plin, zapaljiv

265 Otrovni plin, oksidacijski (pojačava požar)

268	Otrovni plin, korozivan
28	Nagrizajući plin
30	zapaljiva tekućina ($23\text{ °C} \leq T \leq 61\text{ °C}$); zapaljiva tekućina ili krutina u staljenom stanju ($T > 61\text{ °C}$), ali zagrijane na ili iznad T tekućina sklona samozagrijavanju
323	Zapaljiva tekućina koja reagira s vodom stvarajući zapaljive plinove
X323	Zapaljiva tekućina koja opasno reagira s vodom stvarajući zapaljive plinove

4.5 Romb opasnosti

Američki standard o opasnim materijalima NFPA 704 zahtijeva posebne naljepnice u obliku romba koje se upotrebljavaju u industrijskim postrojenjima i skladištima opasnih roba. Te oznake se ne primjenjuju u svrhu prijevoza. Romb opasnosti predstavlja potencijalne zdravstvene rizike, rizike od paljenja i nestabilnosti, kao i druge rizike koji mogu nastati iz kratkog kontakta s materijalom u slučaju požara, curenja ili druge nezgode.

Romb opasnosti (Slika 6) čine četiri polja na kojima se ističu različite vrste opasnosti:

- plavo polje - opasnost za zdravlje, odnosno mogućnost da pojedini materijal onemogućuje osobu uslijed akutnog izlaganja preko kože, udisanja ili gutanja;
- crveno polje - opasnost od zapaljenja, odnosno sklonost zapaljenju;
- žuto polje - opasnost od nestabilnosti, odnosno od lakoće i brzine oslobađanja energije, kao i količine oslobođene energije;
- bijelo, ili polje s bojom pozadine - oznaka posebne opasnosti (ako postoji), kao što je "W" za tvari koje izrazito opasno reagiraju s vodom ili "OX" za jake oksidanse ili "SA" za plinove koji nemaju drugih opasnosti osim što istiskuju kisik iz zraka i na taj način djeluju ugušujuće.

Na prva tri polja ističu se stupnjevi opasnosti 0-4, pri čemu veći stupanj predstavlja veću opasnost.



Slika 6: Romb opasnosti [4]

4.6 Označavanje opasnih kemikalija

Proizvodnja, stavljanje na tržište i korištenje opasnih kemikalija uređeni su Zakonom o kemikalijama (NN 18/13). Opasne kemikalije razvrstavaju se i označuju na način kako je opisano u Tablici 19.

Tablica 19: Označavanje opasnih kemikalija [21]

Simbol opasnosti	Značenje
------------------	----------



Znakom za jaku otrovnost (T+) označuju se otrovi iz skupine 1. pokraj znaka stavlja se natpis «Vrlo jak otrov»



Znakom za otrovnost (T) označuju se otrovi skupine 2. pokraj znaka stavlja se natpis «otrov»



Znakom za štetnost (Xn) označuju se otrovi iz skupine 3. Pokraj znaka stavlja se natpis «štetno»



Znakom za nadražujuće djelovanje (Xi) označuju se otrovi koji trenutnim, produženim ili ponovljenim dodiranjem s kožom ili sluznicom izazivaju upale. Pokraj znaka stavlja se natpis «nadražujuće»



Znakom za nagrizajuće djelovanje (C) i simbolom označava se otrovi koji u dodiru s organskim i anorganskim tvarima izazivaju njihova oštećenja. Pokraj znaka stavlja se natpis «nagrizajuće».



Znakom za eksplozivnost (E) i simbolom označuju se otrovi koji pod utjecajem plamena ili drugih toplinskih izvora eksplodiraju; ili kod kojih je opasnost od eksplozije zbog udarca, tlaka ili trenja veća nego kod dinitrobenzena. Pokraj znaka stavlja se natpis «eksplozivno».



Znakom za oksidirajuće djelovanje (O) i simbolom označuju se otrovi koji u dodiru s drugom tvari daju jaku egzotermnu reakciju (oslobađanje topline) ili pri tome nastaju druge promjene koje povećavaju stupanj opasnosti. Pokraj znaka stavlja se natpis «oksidirajuće».



Znakom za vrlo laku zapaljivost (F+) i simbolom označuju se otrovi koji se pod normalnim tlakom (1013 mbar) i na normalnoj temperaturi (20 °C) mogu zapaliti. Pokraj znaka stavlja se natpis «vrlo lako zapaljivo».



Znakom za laku zapaljivost (F) označuju se otrovi koji se lako zapale u dodiru s izvorom vatre, otrovi koji se pale u dodiru sa zrakom bez posredovanja drugih tvari (samozapaljivi otrovi) te otrovi koji u dodiru s vodom ili vlažnim zrakom razvijaju zapaljive plinove. Pokraj znaka stavlja se natpis «lako zapaljivo».



Znakom opasnosti za okoliš (N) i simbolom označuju se otrovi koji su opasni za biljke i životinje, organizme u tlu, pčele, ozonski omotač i dr. Pokraj znaka stavlja se natpis «<opasno za okoliš».

Piktogrami opasnih kemikalija (Tablica 20) prate sustav razvrstavanja i označavanja opasnih spojeva u Europskoj uniji te se pridržavaju UN-ovog Globalno usklađenog sustava klasifikacije i označavanja.

Tablica 20: Piktogrami opasnih kemikalija [21]



Plin pod tlakom

Simbol: plinski cilindar voo

Opasnosti:

- sadrži plin pod tlakom; može eksplodirati ako se zagrijava
- sadrži pothlađeni plin; može izazvati kriogene opekline i ozljede



Eksplzivno

Simbol: eksplozivna bomba

Opasnosti:

- nestabilni eksploziv
- eksploziv s opasnošću od masovne eksplozije
- eksploziv s opasnošću od projekcije može eksplodirati u vatri



Oksidirajuće

Simbol: plamen preko kruga

Opasnosti:

- može izazvati ili pojačati požar, oksidans
- može izazvati ili pojačati eksploziju, jaki oksidans



Zapaljivo

Simbol: plamen

Opasnosti:

- izuzetno zapaljiv plin
- zapaljiv plin
- izuzetno zapaljiv aerosol
- zapaljiv aerosol
- jako zapaljiva tekućina i para
- zapaljiva tekućina i para
- zapaljiva krutina



Korozivno

Simbol: korozija

Opasnosti:

- može nagrizati metale
- izaziva jake opekline na koži i oštećuje oči



Opasno za zdravlje

Simbol uskličnik

Opasnosti:

- može izazvati nadraživanje dišnih organa
- može izazvati uspavanost i nesvjesticu
- može izazvati alergijsku reakciju na koži
- izaziva zbiljno nadraživanje očiju
- izaziva nadraživanje kože
- štetno ako se proguta
- štetno u dodiru s kožom
- štetno ako se udiše
- ugrožava zdravlje ljudi i oštećuje okoliš jer razara ozon u gornjoj atmosferi



Akutno otrovanje

Simbol: mrtvačka glava na prekriženim kostima

Opasnosti:

- fatalno ako se proguta
- fatalno u dodiru s kožom
- fatalno ako se udiše
- otrovno ako se proguta
- otrovno u dodiru s kožom
- otrovno ako se udiše



Opasno za zdravlje

Simbol: opasno za zdravlje

Opasnosti:

- može biti fatalno ako se proguta ili udiše
- izaziva oštećenja organa
- može izazvati oštećenja organa
- može ugroziti plodnost ili nerođeno dijete
- sumnja se da ugrožava plodnost ili nerođeno dijete
- može izazvati rak
- sumnja se da izaziva rak može izazvati genetička oštećenja
- sumnja se da izaziva genetička oštećenja
- može izazvati simptome alergije ili astme ili poteškoće u disanju ako se udiše



Štetno za okoliš

Simbol: okoliš

Opasnosti:

- jako otrovno za život u vodi s dugotrajnim učincima
- otrovno za život u vodi s dugotrajnim učincima

5. Postupci kod nesreća sa opasnim tvarima

Kada se dogode nesreće s opasnim [6] kemikalijama, potrebno je brzo djelovanje. Kada je pravovremena dojava za intervenciju sa opasnim tvarima i što brži dolazak na mjesto intervencije može se zaustaviti istjecanje u okoliš, kontaminacija opasnim tvarima ili spasiti osobe. Eksplozija ili druga prijetnja može se izbjeći ako se propuštanje plina zaustavi što ranije. Naknadno prikupljanje otežava nam i samu dekontaminaciju koju moramo izvršiti. U svrhu brzog i učinkovitog zbrinjavanja nesreća s opasnim tvarima, polazište je dobro osmišljen i sustav planiranja, dobra organizacija i odgovarajuća opremljenost interventnih jedinica i timova. U slučaju intervencija na moru i Državni plan zaštite voda, važeći Planovi intervencija u zaštiti okoliša i Planovi intervencija kod izvanrednog onečišćenja mora u Republici Hrvatskoj.

Strategija intervencije u nesreći mora se baviti pitanjima kao što su sigurnost tijekom intervencije, izbor osobne zaštitne opreme, provođenje dekontaminacije itd. Ključno pitanje za interventne djelatnike i zapovjednike je pravilno postupanje u intervenciji. Nestručan rad ne samo da neće pridonijeti smanjenju rizika, već ga može dodatno povećati. Dobro je poznato da se osoba može ozlijediti pokušavajući spasiti druge osobe, na primjer ako se koristi neadekvatna zaštitna oprema. S druge strane, korištenje najbolje moguće zaštite nije uvijek najbolji postupak i takva bi oprema mogla znatno otežati ili onemogućiti rad. Zbog toga je za rad s opasnim tvarima, posebice u situacijama kada su iste iscurile, potrebna edukacija radnika, posebice interventnog osoblja.

Budući da je svaka intervencija sa opasnim tvarima drugačija zbog same tvari koja se nalazi, mjesta intervencije, vremenskih prilika gotovo je nemoguće unaprijed dati konkretne savjete što treba učiniti u određenoj situaciji i u određeno vrijeme, kako postupiti, s kojom opremom i sl. Tek nakon nesreće, kada se dobije informacija o vrsti i količini štetnih tvari, načinu prijevoza, potencijalnim curenjima, požarima, smjerovima vjetrova, mjestu nesreće, itd., mogu se dati odgovarajući odgovori. Unatoč jedinstvenim okolnostima nesreće, specifične radne prakse i odabir opreme mogu se napraviti unaprijed jer većina nesreća slijedi tipične obrasce. Sveobuhvatno razumijevanje nesreća koje uključuju štetne tvari ključno je jer može imati značajan utjecaj na odluke koje pojedinci donose u vrijeme događaja.

Pisane upute o tome što učiniti u slučaju nesreće. Zapovjednik intervencije treba pisane upute za rukovanje opasnim materijalima u praktički svakoj teškoj nesreći koja uključuje opasne materijale. Najprihvatljiviji su oni izrađeni posebno za svaku tvar, kao što su sigurnosno-tehnički listovi. Međutim, u praktične svrhe, smjernice koje pokrivaju određenu skupinu opasnih spojeva mogu biti od pomoći budući da mnoge štetne tvari pokazuju slične osobine i predstavljaju usporedive rizike u nesrećama.

Stoga se savjetuje korištenje kartica za intervenciju u incidentima, često poznatih kao ERICards (engl. *Emergency Response Intervention Cards*), koje je osmislilo Vijeće europske kemijske industrije (CEFIC), u incidentima koji uključuju cestovni i željeznički promet. Međunarodna pomorska organizacija (IMO) uspostavila je Procedure za opasnost od požara i izlivanja za prijevoz opasnih proizvoda vodom, koje su slične ERICards. Vodič za intervencije u nesrećama i Smjernice Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva za postupke u zrakoplovnim nesrećama koje uključuju opasne tvari još su dva skupa smjernica koje je vrijedno spomenuti uz ostale.

5.1 Taktičke postavke

5.1.1 Navalno i obrambeno taktičko djelovanje

Postoje dvije primarne taktičke radnje koje se mogu definirati kada su u pitanju tehnike koje se koriste u incidentima koji uključuju otrovne tvari: ofenzivna i obrambena. Postupci koji uključuju izravan kontakt s potencijalno opasnim tvarima i interventnim osobljem dio su taktičkog djelovanja. Stoga djelatnici koji odlaze na intervenciju trebaju imati odgovarajuću zaštitu. Ova taktička radnja uključuje nekoliko koraka za zaustavljanje istjecanja i održavanje materijala u njegovoj ambalaži i spremnicima, prijenos materijala u nove spremnike, čišćenje područja s kojim su opasne tvari došle u dodir itd.

Postupci koji sprječavaju vatrogasne postrojbe da dođe u izravan dodir s potencijalno otrovnim tvarima primjeri su obrambenih taktičkih radnji. To obično podrazumijeva uklanjanje izvora paljenja, zaustavljanje rasta i širenja para kapljevina, zadržavanje tvari ogradom, uzbunjivanje javnosti, naređivanje evakuacije itd. Za intervencije koje uključuju otrovne tvari, ovi postupci zahtijevaju nižu razinu zaštite i može završiti osoblje s najosnovnijom obukom.

5.1.2 Osnovna i proširena taktička jedinica

Sintagma "taktička postrojba" odnosi se na ustrojstvene jedinice vozila i opreme, a one ovise o nizu okolnosti, uključujući broj djelatnika i njihovu razinu osposobljenosti, dostupnost vozila i druge opreme, okoliš na mjestu nesreće, itd. Posebno je korisno organiziranje intervencija u dvije taktičke cjeline — osnovnu i proširenu. Vozilo za opasne tvari (vozilo za nezgode), vatrogasno vozilo i tehničko vozilo uključeni su u temeljnu taktičku cjelinu.

Vozilo za opasne tvari sadrži zaštitnu opremu, opremu za zaustavljanje istjecanja, pretakanje, sakupljanje i smještaj opasnih tvari te raznu drugu opremu.

Vozilo za gašenje požara koristi se za:

- osiguranje sredstava za gašenje i hlađenje (barem vodu i pjenu, a ponekad je potreban i prah)
- prijevoz dodatne opreme: samostalnih uređaja za disanje, zamjenskih boca, ljestvi...
- prijevoz djelatnika.

Tehničko vozilo koristi se za:

- dobivanje električne energije
- prijevoz rasvjetnih tijela i opreme, provjetravalica, kotura za kablove i druge tehničke opreme.

Proširena taktička postrojba je u biti temeljna taktička postrojba koja je dopunjena zapovjednim vozilom, dodatnim protupožarnim vozilom, specijalnim vozilom za prijevoz veće količine zaštitnih odijela i opreme za zaštitu dišnog sustava, vozilom sa specijaliziranim mjernim vozilom, opremom za detekciju opasnih tvari, vozilom za dekontaminaciju, te ostalim vozilima i opremom.

Zapovjedno vozilo obično sadrži prijenosno računalo s bazom podataka o opasnim spojevima kao i komunikacijske alate u slučaju da postane potrebno savjetovati se sa stručnjacima za određene lokacije. Plinski kromatograf ili maseni spektrometar obično je uključen u posebnu mjernu opremu nekih vozila. Kada je nekoliko ljudi kontaminirano u teškim nesrećama, koristi se kombi za dekontaminaciju. Za zahtjeve dekontaminacije većih razmjera, vatrogasno vozilo za opasne tvari ili akcidentno vatrogasno vozilo opremljeno je većim brojem tuševa, grijačem vode te raznim alatima i opremom za dekontaminaciju.

5.1.3 Taktičke grupe

Interventnim radnicima na terenu dodjeljuju se grupe od najmanje dvije osobe. Prema zahtjevima i raspoloživim resursima (tzv. modularni pristup) odlučuje se o broju grupa i osoblja.

Interventni radnici su podijeljeni u sedam grupa na temelju zadatka koji su dobili: Izviđački tim prvi izlazi na mjesto intervencije ili nesreće. Dužnosti tima koji ide u izviđanje, uključuju pronalaženje otrovne tvari i procjenu štete te spašavanje onih koji su ozlijeđeni. Ova skupina koristi najvišu razinu zaštitne opreme ako je opasni materijal nepoznat.

Dužnosti grupe za mjerenje uključuju mjerenje koncentracije plina i pare te praćenje svih osoba koje ulaze u opasno područje.

Odgovornost radne skupine je provođenje strategije smanjenja rizika. Oprema koja se koristi u intervenciji mora biti postavljena za korištenje od strane transportnog tima. Ova skupina može koristiti manje zaštitne opreme jer izbjegava opasno područje.

Sigurnosni tim ima zadatak biti spreman u slučaju potrebe spašavanja ozlijeđenih radnika. Ovaj tim koristi sličan stupanj sigurnosti kao i radna skupina. Nakon odrađenih 20 minuta rada, ova grupa mijenja mjesta s radnom grupom, a na njeno mjesto postavlja se nova.

Vatrogasni postrojba mora uvijek imati u pripremi sredstvo za gašenje. Posao tima za dekontaminaciju je očistiti opremu i dekontaminirati radnike koji su napustili opasno područje. Unutar 15 minuta od odlaska 1. grupe na opasnu lokaciju, tim za dekontaminaciju mora imati pripremljenu odgovarajuću opremu i biti spreman za dekontaminaciju. Glavni alati koje koristi tim za dekontaminaciju su odijela za zaštitu od prskanja, maske i filtri.

5.1.4 Sigurnosne mjere prilikom nesreća sa opasnim tvarima

Na mjestu nesreće s opasnim materijalima važno je imati odgovarajuću zaštitnu opremu te dovoljan broj radnika za intervenciju [7]. Rad s premalo osoblja u određenim situacijama može ugroziti njihovu sigurnost.

Tijekom intervencije treba razviti sustav ovlasti i odgovornosti te osobito strategija intervencije. U slučaju većih intervencija, zapovjednik intervencije može povjeriti provedbu mjera osiguranja drugoj osobi. Zapovjednik intervencije zadužen je za sigurnost tijekom cijele intervencije. Zapovjednik također odabire osobnu zaštitnu opremu, određuje broj potrebnih taktičkih grupa i njihove članove, pruža pomoć u hitnim slučajevima te organizira prijevoz za potrebe medicinske pomoći.

Radiokomunikacija je potrebna kada je nemoguće uspostaviti izravnu vezu između hitnog osoblja i zapovjednika zbog udaljenosti ili osobne zaštitne opreme kao što su plinonepropusna odjela u kojima je otežana komunikacija zbog korisnika koji je izoliran od vanjskog utjecaja. Interventni djelatnici mogu biti označeni prepoznatljivim oznakama na svojim zaštitnim odijelima u svrhu identifikacije.

Ključno je eliminirati izvore paljenja kod nesreća gdje postoji mogućnost zapaljenja plina. Oprema i uređaji koji se koriste u ovim okolnostima moraju biti zaštićeni od eksplozije.

Zone nadzora. Potrebno je stvoriti zone nadzora oko mjesta nesreće i označiti ih čunjevima, stupovima, zastavama, trakama, itd. Postoje tri područja zone nadzora: opasno, pripremo i sigurno. Opasno područje proteže se od užeg mjesta ispuštanja opasne tvari do udaljenosti na kojoj nezaštićeno osoblje ne može biti ozlijeđeno. Vrsta i količina tvari koja je iscurila, smjer i snaga vjetra, temperatura u tom području, itd., utječu na širinu tog područja. Zona nadzora može se procijeniti pomoću mjernih alata ili izračunati pomoću vrijednosti iz prethodnog proračuna ili iskustva. U opasno područje smiju ulaziti samo osobe koje su dobro zaštićene osobnom zaštitnom opremom. Za nadzor ulaska i izlaska iz tog područja odgovorna je određena osoba koja uvijek zna tko se nalazi u jasno označenom rizičnom području. Ove sigurnosne mjere su posebno važne u slučaju značajnih nesreća (kao što su tehnološke katastrofe).

Nakon opasne zone slijedi zona pripravnosti. To uključuje raspoređivanje hitnih vozila i pripremu spasilačkog osoblja, koje je ugasilo požar, zaustavilo curenje, premjestilo i prikupilo robu kojoj je istekao rok trajanja, itd. Dodatno se nadzire ulaz u prostor za pripremu. Tu se odgovornost može povjeriti i policijskom osoblju koje jedino smije propuštati sudionike intervencije.

Siguran prostor nalazi se iza prostora za pripremu. Vjetar, koji određuje smjer i brzinu širenja plinova i para, obično ima značajan utjecaj na širinu širenja i oblik pojedinih područja. Stoga je mjestu nesreće najbolje pristupiti s privjetrine kad god je to moguće. Time se mjestu nesreće može približiti na najmanju moguću udaljenost, što olakšava izvođenje intervencije.

Prva zona sigurnosti i izolacije. Potrebno je preciznije odrediti sigurnosne razmake kod nesreća kada se oslobađaju otrovni spojevi koji su štetni prilikom udisanja. Isto vrijedi i za opasne materijale koji ispuštaju štetne plinove kada dođu u dodir s vodom.

Početno područje izolacije sastoji se od kruga koji je izuzetno opasan u kojem se nalazile osobe, te mogu biti zdravstveno ugrožene ako se nalaze na strani gdje puše vjetar. Nezaštićenim osobama nije dopušten pristup ovoj lokaciji.

5.2 Uklanjanje opasnosti

Kada interventni djelatnici dođu [9] na mjesto nesreće, trebate spasiti unesrećene, procijeniti situaciju, utvrditi prijetnje, a zatim usvojiti i provesti plan intervencije za smanjenje tih opasnosti. Potrebno je identificirati opasni materijal koji je uključen, vrste i razinu štete, potencijalni tijek događaja, itd., a sve kako bi se analizirala nastala situacija.

Za većinu nesreća može se prema iskustvenim pokazateljima na vrijeme dobiti podatak o opasnoj tvari u nesreći zahvaljujući:

- logističkom centru interventne skupine
- oznakama na ambalažama, predmetima, spremnicima i prijevoznim sredstvima
- prijevoznim ispravama
- vozaču prijevoznog sredstva, osoblju u pogonu, skladištu itd.

Uvjeti na mjestu nesreće i održivost korištenja određene strategije utječu na odabranu metodu za smanjenje rizika.

Hlađenje, razrjeđivanje i ispiranje vodom. Kada postoji mogućnost eksplozije i puknuća spremnika zbog visokog tlaka u spremnicima, vodeno hlađenje može biti najbolja opcija za smanjenje tlaka. Smatra se da je jedan od najboljih tretmana hlađenje termički nestabilnih spojeva. U nekim okolnostima, savjetuje se razrijediti spojeve koji se miješaju s vodom. Ovo može učiniti situaciju sigurnijom i manje opasnom. Međutim, razrjeđivanje proizvodi više kapljevine, što bi buduće sakupljanje moglo učiniti izazovnim. Preostale količine opasne kemikalije mogu se razrijediti i ukloniti pranjem vodom nakon prikupljanja većine prolivene kapljevine.

Zaštita pjenom. Metoda izolacije površine opasnih tvari od toplinskog zračenja i izvora paljenja uključuje prekrivanje istekle štetne kapljevine ili ukapljenog plina zračnom pjenom. Ako je tekućina podvrgnuta slabijem toplinskom zračenju, isparavanje će se odvijati sporije. Time se može znatno otežati paljenje i smanjiti količina opasnih i štetnih plinova u zraku. Koju vrstu pjene treba koristiti za pokrivanje kapljevina prvenstveno ovisi o površini i lakoći kojom se pjena može nanijeti na

određeno mjesto. Veće razine pjenjenja zahtijevaju manje vode za razgradnju, ali su više podložne atmosferskim čimbenicima poput vjetra, kiše i visokih temperatura. Smatra se da je pjena s nižom ekspanzijom ili prikladnija za kraće intervencije, dok je pjena s većom ekspanzijom prikladnija za duže intervencije.

Uklanjanje izvora paljenja koji bi mogli uzrokovati da se pjena u zapaljivim kapljevina zapali ključno je jer pjena na kraju postaje zasićena plinovitom fazom kapljevine koju pokriva. Pjena se također može koristiti za zadržavanje zapaljivih kapljevina koje plutaju na vodi, pomažući u sprječavanju širenja para kapljevine. Međutim, naknadno prikupljanje kapljevine bit će izazovno jer sredstva za pjenjenje smanjuju površinsku napetost prolivenog mineralnog ulja. Pojam "sredstvo za pjenjenje otporno na alkohol" (AR, engl. *alcohol resistant*) odnosi se na tvar koja štiti pjenu proizvedenu s drugim sredstvima za pjenjenje od štetnih učinaka kapljevina koje se spajaju s vodom, poput alkohola. Kiseline i lužine ne mogu se prekrivati pjenama za gašenje požara. Preporučuju se posebne "hazmat pjene" za pokrivanje takvih predmeta kao i otrovnih spojeva općenito.

Neutralizacija kapljevina kojima je istekao rok trajanja podvrgavaju se postupku kisele ili lužnate obrade kako bi se neutralizirale. Sposobnost pretvaranja opasnog materijala u neopasno stanje glavna je prednost neutralizacije. Lužine neutraliziraju kiseline, i obrnuto, s time da se kiseline neutraliziraju lužinama. Zapravo, lužine se obično tretiraju s razrijeđenom klorovodičnom ili sumpornom kiselinom, a kiseline se obično tretiraju s vodenom otopinom gašenog (hidratiziranog) vapna. Procesom neutralizacije nastaju odgovarajuće soli i voda, te toplina neutralizacije, koja u nekim slučajevima može biti toliko intenzivna da materijal može prskati. Kao rezultat toga, korištenjem ove strategije smanjenja rizika, moguće je zamisliti više izazova i nesreća na radu. Danas su za tu svrhu stvorena specifična sredstva koja ne reagiraju snažno i ne stvaraju iznenada lokaliziranu toplinu tijekom procesa neutralizacije.

5.3 Dekontaminacija

Rad s opasnim [11] kemikalijama često uključuje kontaminaciju ljudi, vozila, sigurnosne opreme i odjeće itd. Dekontaminacija se mora provesti kako bi se spriječila negativne posljedice kontaminanata. U osnovi, to uključuje ispiranje nečistoća ili njihovu obradu određenim kemijskim sredstvima kako bi se pretvorile u sigurne kemikalije.

Ispiranje vodom je najbolji način dekontaminacije tijela (uključujući oči). Duljina vremena potrebnog za ispiranje ovisi o topljivosti opasne tvari u vodi te koliko brzo opasna tvar može prodrijeti kroz kožu. Vrsta opasne tvari određuje dužinu ispiranja. Što se tiče učinaka kontaminacije, bitno je naglasiti da, osim vrste i količine opasnog materijala, značajan utjecaj ima i vrijeme kontaminacije.

Pošto su vatrogasne snage, najčešće, prve na mjestu nesreće ukoliko postoje ozlijeđene osobe i ukoliko okolnosti dozvoljavaju (ovisno o opremi znanju i vještinama koje vatrogasci posjeduju u tome trenutku), trebaju unesrećene evakuirati u sigurno područje

Drugim riječima, učinci će biti manje ozbiljni što se prije provede dekontaminacija. Ozlijeđene osobe koje trebaju liječničku pomoć djelatnika hitne medicinske pomoći, ponajprije se treba izvršiti dekontaminacija ozlijeđenih osoba i da se kao tekve ne stavljaju u vozila hitne pomoći, da se prostor vozila ne kontaminira. Nakon dekontaminacije može biti potreban liječnički pregled.

Zaštitna odjeća čisti se dva puta tijekom procesa dekontaminacije. Zaštitnu odjeću je prvo potrebno skinuti nakon što se temeljito ispere vodom. Kod ispiranja se dodaje deterdžent kada su u pitanju opasne tvari koje nisu topive u vodi.

Zatim se zaštitna odjeća stavlja u plastične vrećice i šalje na mjesto kod dezinfekcijske zone i detaljnije čisti. Dodatno ispiranje i prozračivanje uključeni su u ovu drugu fazu dezinfekcije. Mikroporozna pjena, koja se proizvodi pomoću komprimiranog zraka, osim pranja vodom može se koristiti i za dezinfekciju. Prilikom ove metode dekontaminacije troši se znatno manje vode te nastaje znatno manje otpada koji se mora zbrinuti. Pjena se također može koristiti za dezinfekciju posebno osjetljivih naprava poput aparata za disanje, mjernih uređaja i ručnih radija. Kako bi se poboljšala učinkovitost stvorene pjene, u otopinu za pjenjenje mogu se dodati različiti aditivi. Općenito, može se tvrditi da niti jedna pojedinačna metoda nije dovoljna za provođenje druge faze dekontaminacije za sve opasne tvari. To je posljedica brojnosti i raznovrsnosti opasnih tvari te njihova kemijska svojstva.

Svi organski spojevi s vrelištem nižim od 8 °C smatraju se hlapljivima (primjeri uključuju benzen, kloroform i heksan). Najučinkovitiji način njihova uklanjanja je prozračivanje koje rezultira njihovim isparavanjem. Prilikom prozračivanja preporuča se korištenje zraka na temperaturi većoj od sobne (30–40 °C) kako bi se ubrzalo isparavanje lako hlapljivih organskih spojeva.

Sve tvari s topljivošću većom od 60 g/l smatraju se topivima u vodi (u ovu grupu spojeva spadaju primjerice fenol i etil glikol). Lako topljive tvari čiste se puštanjem pod vodu uz korištenje deterdženta. Pri tome je preporučljivo koristiti vodu na temperaturi između 40 i 50 °C jer povećanje temperature u pravilu povećava topljivost tvari.

6 Zaključak

U današnje vrijeme se zbog konstantnog industrijskog razvoja i suvremene industrijska proizvodnja sve više povećava proizvodnja i nastajanje opasnih tvari različitog podrijetla. Zato je s opasnim tvarima pri prijevozu, skladištenju ili korištenju potrebno pravilno rukovati te ih posljedično i pravilno primjenjivati. Rizik od nesreća znatno se povećava nepažljivim rukovanjem opasnim tvarima što rezultira slučajnim ili nepredvidivim istjecanjem ili prosipanjem, te različitim nesrećama ili akcidentima.

Opasne tvari koje se prevoze moraju biti skladištene na poseban način, a za njihov prijevoz upotrebljavaju se različita prijevozna sredstva, koja moraju sadržavati sigurnosnu i zaštitnu opremu, te moraju biti atestirana i tehnički ispravna, označena listicama opasnosti ili pločama opasnosti. Konačno, pri prijevozu opasnih tvari vozač mora kod sebe imati propisanu dokumentaciju o prijevozu opasnih tvari.

Zbog sve većeg prometa na cestama, najsigurniji prijevoz većih količina opasnih tvari trebao bi se odvijati željezničkim prijevozom, a samo u posebnim slučajevima cestovnim transportom.

Ljudski čimbenik je najčešći uzrok nesreća, te je potrebno obrazovati sve osobe koje rade s opasnim tvarima, a osobe koje sudjeluju u prijevozu opasnih tvari moraju imati obavezu stručnog osposobljavanja, što bi trebalo rezultirati smanjenjem broja nesreća.

Nesreće koje se mogu dogoditi s opasnim tvarima u industrijskim pogonima ili skladištima predstavljaju manji problem za zdravlje ljudi i okoliš od nesreća koje se događaju pri prijevozu opasnih tvari u cestovnom prometu koje mogu biti veliki problem zbog nepredvidivosti mjesta intervencije i velikog negativnog utjecaja za okoliš. Naime, u zatvorenim procesima sudjeluju stručne osobe koje se vrlo brzo mogu naći u području eventualnog štetnog događaja te poduzeti odgovarajuće mjere.

Najvažniju ulogu u brzom djelovanju kod akcidenata koji uključuju opasne tvari u praksi imaju vatrogasci, posebice na početku štetnog događaja kada je potrebno zaustaviti istjecanje, pretočiti ili sakupljati opasnu tvar, što čini njihov dio posla najopasnijim.

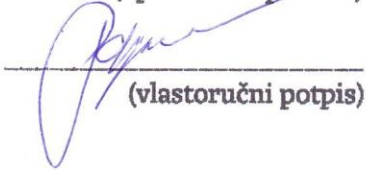
Sveučilište
SjeverSVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, ANTONIO POPIJAC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRIVEZ OPASNIH TVARI (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)


(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

Literatura

- [1] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, <https://mmpi.gov.hr/promet/cestovni-promet-124/prijevoz-opasnih-tvari-u-cestovnom-prometu-adr/12546> [Pristupljeno 14.09.2023]
- [2] Bukljaš Skočibušić M, Bukljaš Z. Zaštita u prometu, Sveučilište u Zagrebu fakultet prometnih znanosti, Zagreb (2015)
- [3] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture; Prijevoz opasnih tvari u prometu - ADR, <https://mmpi.gov.hr/promet/cestovni-promet-124/prijevoz-opasnih-tvari-u-cestovnom-prometu-adr/12546> [Pristupljeno 14.09.2023]
- [4] Pakiranje opasnih tvari; sigurnost 53 (2) 163 – 168, <https://hrcak.srce.hr/file/104540> [Pristupljeno 13.08.2023]
- [5] Sigurnost i zaštita na radu, Kem. Ind. 64 (5-6) (2015) 335–338, <https://hrcak.srce.hr/file/204842> [Pristupljeno 29.07.2023]
- [6] Europski sporazum o međunarodnom prijevozu opasnih tvari unutarnjim vodnim putovima ADN 2019. Svezak I. i Svezak II., <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/medunarodni/460363/dio/2.html> [Pristupljeno 06.09.2023]
- [7] M. Gregurić, Načini pakiranja i prijevoza opasnih tvari na primjeru tvrtkr Pliva Hrvatska d.o.o., 2015.
- [8] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, Klasifikacija; poglavlje 2.1, https://mmpi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/PROMET/Promet%204%2019/ADR_2019_2.pdf [Pristupljeno 23.03.2023]
- [9] Ministarstvo rada, mirovinskog sustava, obitelji i socijalne politike; Rukovanje opasnim kemikalijama; 21.12.1016.; <https://uznr.mrms.hr/rukovanje-opasnim-kemikalijama/> [Pristupljeno 14.09.2023]
- [10] Radioaktivnost i radioaktivni materijal, sigurnost 60 (3) 277 – 281, <https://hrcak.srce.hr/file/306827> [Pristupljeno 14.06.2023]
- [11] Opasne tvari u prometu, <https://www.prometna-zona.com/opasni-tvari-u-prometu/> [Pristupljeno 28.08.2023]
- [12] Vatrogasni portal Hrvatske, Klasifikacija opasnih tvari, https://www.vatrogasni-portal.com/articles.php?article_id=70 [Pristupljeno 10.09.2023]
- [13] Pocrnić A., Zapaljive i piroforne tvari. Završni rad. Karlovac, Veleučilište u Karlovcu, (2019)
- [14] Koščak Lacković A., Horvat S., Lončar Kočić D., Prijevoz opasnih tvari, Strojarska i prometna škola, Varaždin (2015)
- [15] Europski sporazum o međunarodnom prijevozu opasnih tvari cestom s aneksima a i b, 2013, https://www.ipi.ba/wp-content/uploads/2021/02/ADR-vozila_pregled-na-STP_PREDAVANJA-2013.pdf [Pristupljeno 14.09.2023]

- [16] Anonymous, Opći podaci o opasnim teretima, [Internet izvor], <http://www.ccaa.hr/file/46f44d1569ad4b6bd1e6d8070f87dbe347> , [Pristupljeno 03.07.2022.]
- [17] Narodne novine, Opći zahtjevi mjerila za razvrstavanje i označavanje opasnih tvari i pripravaka, 2011
- [18] Knežević D. Intervencije u nesrećama pri prijevozu opasnih tvari, Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb (2014)
- [19] Matešić M., Načini nastanka i uzroci požara i eksplozija pri proizvodnji, transportu i skladištenju ukapljenih plinova. Završni rad. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2017)
- [20] Koščak Lacković A., Horvat S., Lončar Kočić D., Prijevoz opasnih tvari, specijalistički tečaj za cisterne, Varaždin (2015)
- [21] Pavelić Đ. Radioaktivnost i radioaktivni materijal. Sigurnost, 2018, 60(3), 277-281.
- [22] Kukavica Filip Analiza tržišta skladišnih kapaciteta za opasne terete na području Republike Hrvatske, Diplomski rad, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu fakultet prometnih znanosti (2021)
- [23] Rotim K. et al. Prometni traumatizam, Medicinska naklada, Zagreb (2012)
- [24] Plavšić F., et al. Siguran rad s kemikalijama, Zagreb (2014)
- [25] Investopedia, Liquefied Natural Gas: What it is , How it Works, 2022 <https://www.investopedia.com/terms/l/liquefied-natural-gas.asp> [Pristupljeno 11.09.2023]
- [26] Fire rescue1, What firefighters need to know about BLEVEs, 2020, <https://www.firerescue1.com/firefighter-training/articles/what-firefighters-need-to-know-about-bleves-EwLDAJRkaiulfaDR/> [Pristupljeno 05.09.2023]