UNIVERZITET U NOVOM SADU

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

RAZVOJ MODELA ZA PRORAČUN RIZIKA U LOGISTIČKIM SISTEMIMA OPASNIH MATERIJA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
Prof dr Ilija Tanackov

Kandidat:
Mr Zdenko Janković

Novi Sad 2016

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ● **ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА**
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, **РБР**:		
Идентификациони број, **ИБР**:		
Тип документације, **ТД**:		Монографска документација
Тип записа, **ТЗ**:		Текстуални штампани материјал
Врста рада, **ВР**:		Докторска дисертација
Аутор, **АУ**:		Мр Зденко Јанковић
Ментор, **МН**:		Др Илија Танацков, редовни професор
Наслов рада, **НР**:		**Развој модела за прорачун ризика у логистичким системима опасних материја**
Језик публикације, **ЈП**:		Српски
Језик извода, **ЈИ**:		Српски
Земља публиковања, **ЗП**:		Република Србија
Уже географско подручје, **УГП**:		Војводина
Година, **ГО**:		2016
Издавач, **ИЗ**:		Факултет техничких наука
Место и адреса, **МА**:		Нови сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, **ФО**: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)		5 поглавља/148 стране/74 табела/79 слика/2 прилога
Научна област, **НО**:		Организација и технологија транспорта
Научна дисциплина, **НД**:		Саобраћајно инжењерство
Предметна одредница/Кључне речи, **ПО**:		Опасне материје, ризик, логистички системи
УДК		
Чува се, **ЧУ**:		Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, **ВН**:		
Извод, **ИЗ**:		На узорку од 9746 акцидената са 19 опасних материја, испитиван је утицај логистичких подсистема (производња, складиштење, претовар транспорт и дистрибуција) на квалитативни исход последица по живот и здравље људи. Применом одабраних статистичких тестова за сваку опасну материју су установљени логистички подсистеми са највећим ризиком. Особине опасних материја значајно варирају вредности и позиције ризика. Установљени модел се може применити у пракси.
Датум прихватања теме, **ДП**:		12. 05. 2016.
Датум одбране, **ДО**:		
Чланови комисије, **КО**:	Председник:	Др Павле Гладовић, редовни професор
	Члан:	Др Марко Васиљевић, ванредни професор
	Члан:	Др Милица Миличић, доцент
	Члан:	Др Синиша Сремац, доцент
	Члан, ментор:	Др Илија Танацков, редовни професор

Потпис ментора

Образац **Q2.НА.06-05** - Издање 1

UNIVERSITY OF NOVI SAD ● **FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, **ANO**:		
Identification number, **INO**:		
Document type, **DT**:		Monographic publication
Type of record, **TR**:		Textual material printed
Contents code, **CC**:		Ph. D. thesis
Author, **AU**:		Msc. Zdenko Janković
Mentor, **MN**:		Ph. D. Ilija Tanackov, Full time Professor
Title, **TI**:		**The development of model for the dangerous goods risk calculation in logistics systems**
Language of text, **LT**:		Serbian
Language of abstract, **LA**:		Serbian
Country of publication, **CP**:		Serbia
Locality of publication, **LP**:		Vojvodina
Publication year, **PY**:		2016
Publisher, **PB**:		Faculty of Tehnical Sciences
Publication place, **PP**:		Novi Sad, Square of dositej obradović 6
Physical description, **PD**: (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)		5 chapters/148 pages/74 tables/79 pictures/2 appendixes
Scientific field, **SF**:		Organisation and technologijes of transport
Scientific discipline, **SD**:		Traffic engineeing
SUBJECT/KEY WORDS, **S/KW**:		Dangerous goods, risk, logistics systems
UC		
Holding data, **HD**:		Library of the Faculty of Technical Sciences, Square of Dositej Obradović 6, Novi Sad
Note, **N**:		
Abstract, **AB**:		In a sample of 9746 accidents are divide with 19 hazardous substances, the influence of logistics systems (production, storage, transshipment, transport and distribution) to the qualitative outcome of the result of the health and safety of people. By applying selected statistical tests for each hazardous material are established logistics subsystems with the highest risk. Characteristics of hazardous materials vary value and risk positions in logistics sybsistems. The established model can be applied in practice.
Accepted by the Scientific Board on, **ASB**:		12. 05. 2106.
Defended on, **DE**:		
Defended Board, **DB**:	President:	Ph. D. Pavle Gladović, Full time Professor
	Member:	Ph. D. Marko Vasiljević, Associate Professor
	Member:	Ph. D. Milica Miličić, Assistant Professor
	Member:	Ph. D. Siniša Sremac, Assistant Professor — Menthor's sign
	Member, Mentor:	Ph. D. Ilija Tanackov, Full time Professor

Obrazac **Q2.HA.06-05** - Izdanje 1

Sadržaj

1. UVOD 1
1.1. Opšte karakteristike rizika akcidenta opasnih materija 1
1.2. Struktura rada 3

2. STRUKTURA UZORKA, OSNOVNE OSOBINE I REPREZENTATIVNI AKCIDENTI IZABRANIH OPASNIH MATERIJA 12
2.1. Opis uzorka 14
2.2. Osnovne osobine izabranih opasnih materija 36
2.2.1. Eksplozivi 36
2.2.2. Kiseonik 39
2.2.3. Metan 42
2.2.4. Poliuretan, pene smole 44
2.2.5. Pogonski benzin 46
2.2.6. Fluorovodonična kiselina 48
2.2.7. Metnol 51
2.2.8. Tečni naftni gas 53
2.2.9. Vodonik 57
2.2.10. Prirodni gas 59
2.2.11. Etanol 62
2.2.12. Dizel gorivo 64
2.2.13. Dehidrirani amonijak i amonijak 66
2.2.14. Sumporna kiselina 69
2.2.15. Zemno ulje 71
2.2.16. Hlor 73
2.2.17. Azotna kiselina 76
2.2.18. Hlorovodonična kiselina 78

3. UTVRĐIVANJE UTICAJA LOGISTIČKIH PODSISTEMA NA POSLEDICE PRI AKCIDENTIMA ZA IZABRANE OPASNE MATERIJE 80
3.1. Teorijske osnove 80
3.2. Protokol proračuna i izabrani statistički test 85
3.3. Proračuni za izabrane opasne materije 91
3.3.1. Proračun za opasnu materiju „eksplozivi“. 91
3.3.2. Proračun za opasnu materiju „kiseonik“. 93
3.3.3. Proračun za opasnu materiju „metan“. 95

3.3.4. Proračun za opasnu materiju „poliuretani“ 97
3.3.5. Proračun za opasnu materiju „motorni benzin“ 99
3.3.6. Proračun za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“ 104
3.3.7. Proračun za opasnu materiju „metanol“ 106
3.3.8. Proračun za opasnu materiju „tečni naftni gas“ 108
3.3.9. Proračun za opasnu materiju „vodonik“ 110
3.3.10. Proračun za opasnu materiju „prirodni gas“ 112
3.3.11. Proračun za opasnu materiju „etanol“ 114
3.3.12. Proračun za opasnu materiju „dizel gorivo“ 116
3.3.13. Proračun za opasnu materiju „amonijak dehidriran“ 120
3.3.14. Proračun za opasnu materiju „amonijak“ 122
3.3.15. Proračun za opasnu materiju „sumporna kiselina“ 124
3.3.16. Proračun za opasnu materiju „zemno ulje“ 126
3.3.17. Proračun za opasnu materiju „hlor“ 128
3.3.18. Proračun za opasnu materiju „azotna kiselina“ 130
3.3.19. Proračun za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“ 132

4. PRIMENA BAJESOVE TEOREME U PRORAČUNU APRIORI VEROVATNOĆA AKCIDENATA U LOGISTIČKIM PODSISTEMIMA 135
4.1. Proračun raspodela *aposteriori* verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima i kvalitativnim posledicama 135
4.2. Primer fluorovodonične kiseline 137
4.3. Primer opasne materije – vodonik 138

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK 141
5.1. Diskusija 141
5.2. Zaključak 146

Literatura 149
Spisak slika 152
Spisak tabela 156

1. UVOD

Opasne materije su sirovine, poluproizvodi ili proizvodi koje zbog karakterističnog hemijskog sastava i određenih svojstava imaju niz poželjnih osobina za svrsishodnu upotrebu. Međutim, u nekontrolisanim uslovima mogu da izazovu posledice koje su opasne i štetne za ljude, životinje, vodotoke, vegetaciju, geneneralno za čitav ekosistem na mikro, meta ili na makro nivou. Ove posledice mogu da budu kratkotrajne ili dugoročne.

Istorija razvoja materija sa specifičnim svojstvima i shvatanje mogućnosti njihove upotrebe za dobrobit čoveka ima duboku antropološku dimenziju. Dovoljno je napomenuti da je vatra kao jedan od najvećih čovekovih otkrića u potpunosti odredila dalji čovekov razvoj, diferencirala ljudsku vrstu u samostalnu s izrazitim odlikama inteligencije. Od tada čovek istražuje i nalazi mnogobrojne mogućnosti transformacije materije i energije. Kao poseban fenomen, alhemija se javlja istovremeno s civilizacijom i religijom, podstiče razvoje drugih saznanja, a okviri hemije kao moderne nauke postavljaju granice industrijskih revolucija i faza razvoja ljudskog društva. U osnovi primenjivane za čovekovu dobrobit, istorija obiluje podacima o stravičnim osobinama materija upotrebljenih u antihumane svrhe od: „Grčke vatre“ u antičkom dobu, izuma baruta u Kini oko 500-te godine nove ere, kontaminacije opsadnih gradova kužnim pacovima u srednjem veku, bojnih otrova do atomskog oružja. Proizvodnja i upotreba „opasnih materija“ kroz ljudsku istoriju često je bila i nemilosrdni izraz tehnološke dominacije jedne nacije nad drugom.

Savremena istorija „opasnih materija“, njihova deklaracija i sistematizacija ima izraženu humanu i civilizacijsku dimenziju. Nastala je iz jasno uočenog rizika koji može da izazove velika grupa materija sa specificnim osobinama. Intencija ka smanjenju rizika, primarno međunarodne razmene energenata, nastala je 1956. godine iz dokumenta ST/ECA/43-E/CN.2/170, formiranog od strane eksperata Saveta Ekonomskog komiteta Ujedinjenih nacija. Dokument je primarno bio prilagođen transportu zbog prenošenja rizika akcidenta preko državnih granica međunarodnom razmenom opasnih materija. Pre svega, međunarodna razmena sirovine za energente – nafte zahtevala je unifikaciju sistema transporta. Tom prilikom postavljena je osnova prve sistematizacije opasnih materija:

- eksplozivne materije, predmeti punjeni eksplozivnim materijama, sredstva za paljenje,vatrometni predmeti i drugi predmeti koji mogu da pod pogodnim spoljnim dejstvom (udar ili trenje), eksplozivnim hemijskim razlaganjem oslobađaju energiju u obliku toplote ili gasova,
- zbijeni gasovi, gasovi pretvoreni u tečnost i gasovi rastvoreni pod pritiskom koji imaju kritičnu temperaturu (temperaturna vrednost iznad koje ne postoji razlika između tečne i gasne faze) nižu od 50°C ili im je na 50°C pritisak pare viši od 300 kPa (3 bar),
- zapaljive materije koje su pri uobičajenim temperaturama i atmosferskim pritiscima u agregatnom stanju gasa, mogu biti homogeni elementi, jedinjenja ili smeše, ili njihove smeše s vazduhom,

- zapaljive materije koje su pri uobičajenim temperaturama i atmosferskim pritiscima u tečnom agregatnom stanju a koje na temperaturi od 50°C imaju pritisak pare niži od 300 kPa (3 bar) i tačku paljenja nižu od 100°C,
- zapaljive materije koje su pri uobičajenim temperaturama i atmosferskim pritiscima u čvrstom agregatnom stanju a koje mogu lako da se zapale u dodiru s plamenom ili varnicom, ali nisu sklone samozapaljenju, zatim čvrste materije sklone samozapaljenju ili koje se pale u dodiru s vazduhom ili vodom bez posredstva drugih materija, kao i materije koje u dodiru s vodom razvijaju zapaljive gasove koji se pale u dodiru s plamenom i varnicom,
- oksidirajuće materije koje se u dodiru s drugim materijama razlažu i pri tom mogu prouzrokovati vatru, organski peroksidi s visokim stepenom oksidacije koje mogu da izazovu štetne posledice po zdravlje ili život ljudi, oštećenje materijalnih dobara, a manje su osetljive na eksploziju u dodiru s plamenom ili na udar, odnosno trenje.
- Materije gasovitog, tečnog ili čvrstog agregatnog stanja industrijskog ili biološkog porekla koje pri dodiru, inhalaciji, gutanjem ili drugim načinom dospevanja u organizam mogu ugroziti život ili zdravlje ljudi, životinja ili štetno delovati na životnu sredinu, zatim zarazne materije kod kojih je izražen biohazard za ljude, životinje ili biljke,
- radioaktivne materije čije je zračenje sitematizovano po intenzitetu i izraženo u mSV/h (mili Siverti na čas),
- korozivne (nagrizajuće) materije koje pri kontaktu s drugim materijama i živim organizmima izazivaju njihovo oštećenje ili uništenje,
- ostale opasne materije su supstancije koje za vrijeme prevoza predstavljaju opasnost, a koje se ne mogu svrstati u prethodne klase.

ADR u drumskom transportu, RID u železničkom transportu, IMDG u pomorskom transportu, ADNR u rečnom transportu i IATA propisi u vazdušnom transportu osnovni su pravilnici i baza dokumentacije na kojima se bazira međunarodna razmena opasnih materija. Ovaj sistem se razvija već 60 godina. Generacije stručnjaka raznih grana, pre svega hemičara i inžinjera svih potrebnih profila, permanentno su razvijale tehničko-tehnološke sisteme za bezbedniji transport, a svoj neophodni doprinos u pravnom uobličenju zakonskih i podzakonskih akata koji regulišu oblast transporta opasnih materija dale su i generacije pravnika. Trenutna sistematizacija opasnih materija razvrstana je u IX razreda. Danas se pod opasnim materijama smatra i otpad koji je nastao u proizvodnim procesima zasnovanim na primeni opasnih materija. Kao i u međunarodnom transportu opasnih materija zasnovanih na navedenim dokumentima (ADR, RID, IMDG, ADNR, IATA, kao i mnogim drugim sporazumima) Bazelskom konvencijom iz 2000. godine je počelo da se reguliše prekogranično kretanje opasnog otpada.

Međutim, ubrzo je ustanovljeno da se uslovi u transportu moraju proširiti i na uslove pretovara, a time i na uslove skladištenja od otpreme do dopreme. Uslovi prijemnih skladištenja su koncepte smanjenja rizika preneli u proizvodnju, a uslovi otpremnih skladišta u distribuciju. Time su sve faze logističkog lanca obuhvaćene – od proizvodnje, preko skladištenja i pretovara do transporta

i distribucije. Potrebe međunarodne razmene su inicijalno, preko transporta, razvile sisteme logistike opasnih materija.

Ipak, pored najboljih namera, akcidenti s učešćem opasnih materija nepoželjni su ali izvesni. Primarno ugrožavaju radnike logističkih podsistema na operacijama proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i distribucije. Zbog toga, osnovni principi naučne i primenjene oblasti „Zaštite na radu“ zasnovani su na zaštiti života i zdravlja radnika i zahtevaju mnoge specifične uslove od obučenosti i psihofizičkih uslova koje radnici moraju ispunjavati, radne i zaštitne opreme, radnog vremena, itd. Kako akcidenti po svom intenzitetu mogu prevazići granice radnih postrojenja, a u transportu imaju izražen pristup javnoj infrastrukturi, posledice akcidenta mogu ugroziti živote i zdravlje ljudi koji nisu upoznati s mogućim posledicama od akcidenata opasnih materija ili nisu u stanju da ih prepoznaju i izbegnu. Inicijalno svaka operacija s opasnim materijama ima rizik koji se smatra infinitezimalnim – obično je reda 10^{-6} po proizvedenoj toni godišnje. Međutim, za desetine ili stotine miliona proizvedenih tona na godišnjem nivou po jednoj opasnoj materiji, zatim za oko 4 000 registrovanih opasnih materija – akcidenat je izvestan (u bazi FACT evidentirao je preko 25 000 akcidenata za oko 2 500 registrovanih opasnih materija). Dovoljno je napomenuti sledeće katastrofalne akcidente koje su prouzrokovale opasne materije, pa da pristup riziku od opasnih materija dobije potpuno drugu vizuru. To su sledeći akcidenti u kojima su navedne samo posledice po život i zdravlje ljudi:

- akcident u luci Halifax, Kanada, 1917, preko 2 000 mrtvih i 9 000 povređenih,
- akcident u skladištima luke Teksas, USA, 1947, preko 500 mrtvih i oko 3 500 povređenih,
- akcident u tunelu Salang, Avganistan, 1982 preko 3 000 mrtvih, mali broj povređenih,
- akcident u skladištu San huan Ixuapeltec, Meksiko, 1984, preko 500 mrtvih i oko 3 500 povređenih,
- akcident na železničkoj stanici Ufa, Čeljabinsk, SSSR, 4. jun 1989, oko 2 200 mrtvih i oko 3 000 povređenih.

1.1. Opšte karakteristike rizika akcidenta opasnih materija

Sagledavanje posledica akcidenta kao aposteriori forma uzroka samo po sebi ima smisla samo ako je cilj prevencija istih ili sličnih akcidenata. Prvi cilj je svakako potpuna eliminacija rizika. U svim logističkim podsistemima, prevencija je osnova bezbednosti. Ona ima svoju personalnu, tehničku i organizacionu dimenziju. Obučen i odgovoran kadar, pouzdanost svih tehničkih uređaja, protokoli upotrebe i zakonodavni okviri osnova su prevencije. Oblast opasnih materija je u današnjem svetu jedna od retkih u kojima se profit podređuje zahtevima bezbednosti. Međutim, i u idealnim uslovima, uvek postoji opasnost od više sile, zemljotresa, cunamija, poplava, neuobičajenih intenzivnih električnih pražnjenja, itd. koje mogu ugroziti bezbednost u bilo kojem logističkom podsistemu opasnih materija. (Antonioni i sar., 2007; Cozzani i sar., 2010). I danas se postrojenja za opasne materije ne projektuju za natprosečne intenzitete

zemljotresa. Smatra se da su isuviše velike investicije za malu verovatnoću (rizik) pojave zemljotresa. Izuzetak su Japan i zapadna obala USA. Nuklearna centrala „Fukušima“ izdržala je jedan od najsnažnijih zemljotresa do sada, 11. marta 2011. godine. Međutim, nepredviđeni cunami izazvao je naknadnu katastrofu. Posledice zemljotresa se mogu kontolisati u logističkim podsistemima s koncentrisanim aktivnostima kao što su proizvodnja ili skladištenje. Ali, ne može se u realnom vremenu prekontrolisati stanje saobraćajnica u prostornoj disperziji, u podsistemu transporta. Zemljotres može poremetiti osu koloseka na potezu od nekoliko stotina kilometara. Pomeranja ose koloseka posle jačih zemljotresa može izazvati iskliznuće većeg broja vozova, a neki od njih svelikom verovatnoćom prevoze opasne materije, pa se svakim zemljotresom rizik od akcidenta enormno uvećava!

U cilju prevencije, neophodno je odrediti najveće rizike. Minimalizacijom najvećih rizika postiže se najveće smanjenje posledica. Proračun rizika u oblasti logistike opasnih materija je izrazito kompleksan fenomen, prvo po kvalitetu i kvantitetu.

Posledice po ljude su uvek primarni aspekt sagledavanja akcidenta. Ovaj aspekt je jasno i nedvosmisleno deklarisan u potrebi zaštite života i zdravlja ljudi, pa prema tome osnovna kvalitativna diferencijacija posledica od akcidenta je:

- akcident s fatalnim posledicama, u kojem je najmanje jedno lice izgubilo život,
- akcident s ugrožavanjem zdravlja, u kojem nije bilo fatalnih posledica, ali je najmanje jednom licu ugroženo zdravlje,
- akcident u kojem nije bilo posledica po život i zdravlje ljudi.

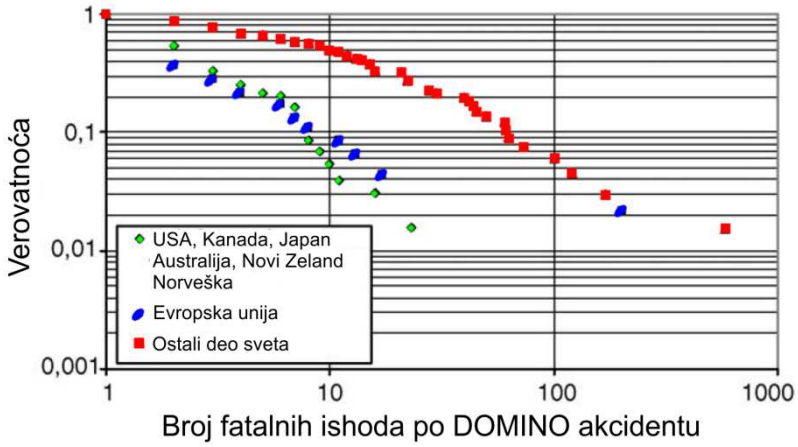
Već na prvom, generalnom aspektu dolazimo do nedoumice! Postavlja se pitanje trajanja akcidenta. Teške povrede izazivaju invaliditete i mogu biti smrtonosne. U većini zakonodavstava, posledice povreda koje su u intervalu do 30 dana izazvale konačan fatalan ishod pripisuju se uzroku - akcidentu. Mnogobrojne druge posledice koje mogu nastati kao potencijali karcinomogeneze velikog broja opasnih materija, zatim akutna respiratorna oboljenja iz kojih se razvijaju hronična i dalja degradacija zdravlja u domenu interne medicine, mnogobrojne posledice koje nastaju iz povećanih koncentracija i akumulacija opasnih materija u zemljištu i indirektno – preko poljoprivrednih proizvoda životinjskog i biljnog tipa dospevaju u ljudske organizme, kao i ostale nepoželjne posledice koje mogu trajati godinama posle akcidenta. Ove posledice se mogu ustanoviti samo permanentnom analizom koja zahteva velike ljudske i materijalne resurse.

Kvalitativne posledice imaju i svoju kvantitativnu dimenziju. Ukupan broj fatalnih ishoda i povređenih je višedimenzionalna slučajna promenljiva. Iz strukture akcidenta proizlazi serija pitanja: koja opasna materija je osnova akcidenta i da li je jedina u akcidentu, koje količine su prouzrokovale akcident, šta je izazvalo inicijaciju akcidenta, koliko vremena je trajao akcident, u kom logističkom podsistemu je akcident realizovan, lokacija akcidenta, dnevno vreme akcidenta, sezonsko vreme akcidenta, meteorološki uslovi (kiša, vetar), da li su postojali bezbednosni i evakuacioni planovi, u kom obimu su ti planovi realizovani, itd!

Najveći broj odgovora je u dosadašnjim analizama istražen u jednom specifičnom uzorku akcidenata. Ovi akcidenti su tzv. DOMINO-efekat. Domino-efekat su „***kaskade događaja u***

kojima se posledice prostorno i vremenski povećavaju, što dovodi do posledice velikog akcidenta". Domino-efekat je definisan 1982. godine, Direktivom 82/501/ECC Evropske komisije, a upotpunjen i uobličen dopunama izveštaja evropskih komisija 96/82/EC i 2003/105/EC.

Rizik za realizaciju akcidenata s domino-efektom je funkcija primenjenog znanja i discipline (tehničke i tehnološke) pri operacijama s opasnim materijama. Zbog toga, prvo se uočava signifikantnan uticaj stepena razvijenosti države na broj fatalnih ishoda po jednom „domino" akcidentu (slika 1.1).



Slika 1.1 – Osnovni pokazatelj obrnute proporcije ishoda i stepena razvijenosti akcidenata domino-efekta u svetu (Darbra i sar., 2010)

Standardan način prikaza zasnovan je na logaritamskoj skali apcise i ordinate. Prikaz velikog broj akcidenata s malim brojem fatalnih ishoda i malog broja akcidenata s velikim brojem fatalnih ishoda najbolju preglednost postiže na logaritamskim skalama. S grafika slike 1.1. uočljivo je da pojava akcidenta domino-efekta u srednje ili slabo razvijenim zemljama ima signifikanto veći broj fatalnih ishoda.

Međutim, i ovaj rezultat analize se može relativizovati. U visoko razvijenim zemljama je veći obim proizvodnje i potrošnje svih opasnih materija. Ukupan količnik navedenih funkcija s obimom proizvodnje i potrošnje bi drastičnije izrazio veliku razliku u bezbednosti visokorazvijenih država EU, SAD, Kanade, Japana, itd. s ostalim srednje razvijenim, zemljama u razvoju i nerazvijenim zemljama. Uopšte, pregledom baza podataka, ustanoviće se da stepen razvoja države korelira sa shvatanjem značaja prevencija akcidenata i njihove analize i evidencije, a time i saradnje s vodećim bazama podataka o akcidentima. Obrnuto proporcionalna korelacija visine BDP-a i rizika od akcidenta, ali samo u oblasti transporta za standardne akcidentne, takođe je ustanovljena (Jie i sar., 2010).

Raspodela akcidenata domino-efekta po logističkim podsistemima data je u tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Raspodela akcidenata domino-efekta po logističkim podsistemima od 1961. do 2007. godine

Proizvodnja	Skladište	Pretovar	Transport	Distribucija
28.40%	35.10%	13.30%	18.70%	4.50%

U nekim logističkm podsistemima postoje potencijali za realizaciju domino-efekta, u drugim ne. Na primer, logistički podsistem skladištenja s velikim količinama opasnih materija raspodeljenih u veći broj skladišnih jedinica, može da bude podloga domino-efekta kada se akcident prenosi serijski između stacionarnih objekata. Pri akcidentima na železnici, požar ili eksplozije se mogu prenositi s vagona na vagon u vremenskim sekvencama. Međutim, u drumskom transportu veliki broj vozila ima prostornu disperziju, što značajno smanjuje rizik od pojave domino-efekta. U distribuciji, kada se velike količine proizvodnje raspodele na distributivna mesta, rizik od domino-efekta se izrazito smanjuje.

Nemaju sve opasne materije potencijal za izazivanje domino-efekta. Ovaj potencijal prostorno–vremenskog transfera akcidenta imaju opasne materije koje podstiču požar ili eksplozije. Zbog toga je u domino-efektu izrazita dominacija opasnih materija razreda II i III: TNG 26,7%, ulja 11,1%, benzin 10,7%, nafta 6,2%, dizel 5,3%, itd. Primetno je odsustvo prirodnog gasa koji se distribuira cevnim transportom, ili na primer kiselina.

Greške u opremi učestvuju u uzroku akcidenata sa oko 28,9%. Unutar ove grupe raspodela participacija uzroka je: pregrevanje 15%, preveliki pritisak 15%, isticanje na prirubničkim spojnicama 12%, pucanje creva 10%, greške u materijalu (metalurški razlozi) 10%, isticanje na zatvorenom ventilu 7%, isticanje na otvorenom ventilu 5%, isticanje na zaptivaču 5%, loše zavareni spoj 5%, korozija 5%, zamor materijala 2%, upotreba inkopatibilnih materijala 2%, itd.

Od 1961. godine do danas je evidentirano 225 akcidetana domino-efekta, ili svega oko 0,90% akcidenata (na osnovu baze FACTS ili ARIA sa preko 25 000 registrovanih akcidenata). Zbog velikog broja specifičnih uslova i participacije od svega 0,90% u akcidentima, analiza domino-efekata ne može biti reprezentativan uzorak. Pre svega zato što nedostaje veliki broj opasnih materija, a prosečan broj nastradalih u realizovanom domino-efektu je signifikatno veći od prosečnog broja nastradalih pri realizaciji redovnih, nespecifičnih akcidenata. Analiza akcidenata domino-efekta ipak je bila neophodna, što je prva sistematizacija realizacije akcidenata s opasnim materijama u logističnim podsistemima izvedena za domino-efekat (tabela 1.1).

Kvalitet i kvantitet fatalnih posledica i povreda od akcidenata opasnih materija do sada nije jedinstveno sistematizovan na svetskom nivou. Razlozi su višestruki. Prvo, zasnivaju se na razlikama zakonskih i podzakonskih akata u pristupu bezbednosti i posledicama. Opšta harmonizacija propisa na međunarodnom nivou još uvek ne postoji.

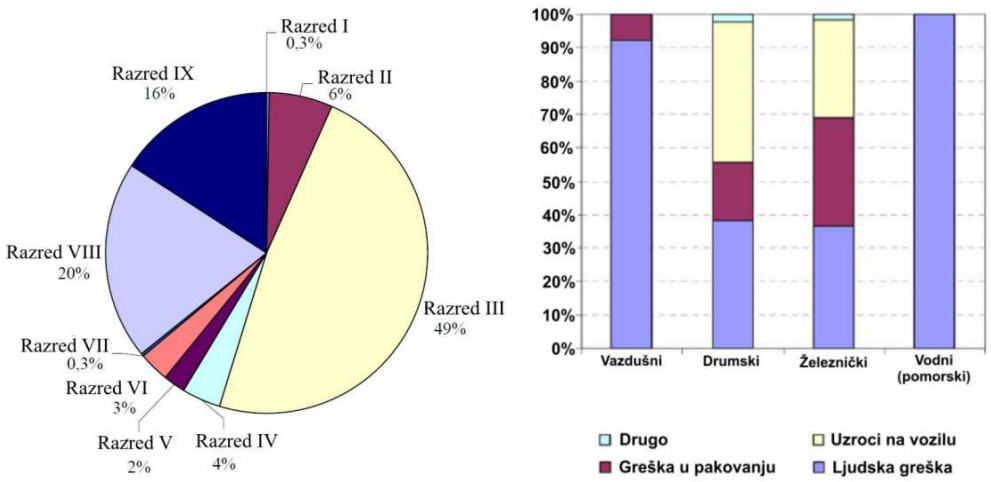
Drugi značajan uzrok su sistemi osiguranja. Dovoljno je napomenuti da je u Republici Srbiji zakonska obaveza osiguranja transporta opasnih materija od posledica koje se pri akcidentu mogu pričiniti licima, imovini i životnoj sredini, nastupila tek odnedavno, Zakonom o prevozu opasnog tereta (Sl. glasnik RS, br. 88/2010, član 8). Međutim, u praksi ova zakonska obaveza je neizvodljiva – osiguravajuća društva nemaju aktuarske modele za ponude prihvatljivih polisa!

Time je ova izvanredna socijalna obaveza ostala mrtvo slovo na papiru a nadležni inspektorati su u paradoksalnoj situaciji.

Treći uzrok nalazi se u oblasti proizvodnje i stalnih intencija smanjenja troškova. Bezbednosni sistemi, od obuke kadrova do instalacije i održavanja opreme u sistemu bezbednosti zahtevaju ogromne troškove. Koncept „optimizacije“ ovih troškova se obično svodi na kompenzovane procedure. Ove substitucije su se pokazale kao neprihvatljive, i u protoku vremena akcidentni su izvesni. Proizvodnja, koja je donekle nezavisna, najmanje je kooperativna u uspostavljanju jedinstvenog sistema bezbednosti. Raspolaže velikom ekonomskom moći, što znači i indirektno političkom moći. A to znači „prilagođavanje“ zakonskog okvira „optimizaciji troškova“. Oblast bezbednosti u logistici opasnih materija neelastična je, tehnički i tehnološki „indoktrinirana“. Pravila koja su ustanovljena i dokazana moraju se bezrezervno poštovati! Ipak, praksa nas je u puno slučajeva uverila u negativne tendencije.

Logistički podsistem transporta opasnih materija je zakonski, a time i tehničko-tehnološki, najharmonizovanija logistička oblast na međunarodnom nivou. Logistički podsistemi pretovara opasnih materija na transport prenose uticaje logističkog podsistema skladištenja opasnih materija (ili direktno iz proizvodnje ako nema skladištenja), a transport putem pretovara opasnih materija prenosi uticaje/rizik, na logistički podsistem distribucije. Raspodela rada između vidova transporta i adekvatnih pretovarnih operacija (razlike u kapacitetima kamionskih, železničkih, brodskih jedinica transporta neminovno dovode do razlika u sistemima za utovar/istovar opasnih materija), opet ima značajnu numeričku asimetriju. Na primeru USA ustanovljeno je da kamionski transport realizuje 94% pojedinačnih pretovara a svega 43% ukupne prevezene količine opasnih materija, dok železnički, vodni i cevni transport sa svega 1% pojedinačnih pretovara realizuju 57% ukupne prevezene količine opasnih materija. Oko 5% pojedinačnih pretovara u neznatnim količinama raspodeljeno je na avio-transport opasnih materija. Pri tome, preko 99% pojedinačnih transporta (uključujući i intermodalni) realizuje se pouzdano, bez akcidenata. Ova asimetrija pretovarnog i transportnog rada predstavlja veliki problem u proračunima rizika zato što se ne može očekivati linearan odnos količina i akcidenata, linearan odnos rizika i broja operacija, kao i linearan odnos rizika i raspodele po vidovima transporta.

Što se tiče participacije opasnih materija u globalnom svetskom tržištu, rezultati su uglavnom saglasni. Dominiraju razredi II, III i VIII (zapaljive materije u gasovitom i tečnom agregatnom stanju, nagrizajuće materije). Ova tri razreda čine preko 90% kvantiteta: od logističkog podsistema proizvodnje do distribucije opasnih materija. Ipak, postoje specifične razlike koje mogu biti prouzrokovane raspodelama proizvodnje ili potrošnje. U intermodalnom sistemu transporta, koji obuhvata sve vidove transporta ustanovljeni su rezultati prikazani na slici 1.2.



Slika 1.2 – Ušešće opasnih materija u akcidentima i raspodela uzroka u pojedinim vidovima transport

Međutim, nisu sve opasne materije pogodne za primenu intermodalnih transportnih sistema. Intermodalni transportni sistem ima jedan specifičan zahtev – da sve karike transportnog lanca imaju identičan ili sličan nivo bezbednosti. Počevši analizu od protokola, jasno je da u organizaciji transporta različitim vidovima ne možemo primeniti identične protokole bezbednosti. Intermodalne jedinice imaju drugačije protokole skladištenja, specijalizovana skladišta (neophodan niz specifičnih priključaka, prostor izemeđu intermodalnih jedinica, specijalni pretovarni uređaji), itd. Specifičnosti intermodalnog transporta opasnih materija takođe ne predstavljaju standardan uzorak.

Slika 1.3 – Intermodalni transpot i skladištenje opasnih materija

Raspodela akcidenata u klasičnim sistemima transporta i njihova analiza je u pristupnoj literaturi najbolje istražena za drumski transport. U uzorku akcidenata opasne zapaljive materije (razredi II, III, IV) participirale su sa 52,13%, nagrizajuće (razred VIII) s 28,96%, otrovne (razred VI) s 11,89%, organski peroksidi i oksidirajuće (razred V) s 1,83% a ostale opasne materije s 5,18% (Jie i sar., 2010). Istraživanje glavnih i specifičnih uzroka akcidenata s opasnim materijama prikazano je u tabeli 1.2.

Tabela 1.2. Glavni uzroci akcidenata u drumskom transportu opasnih materija (Jie i sar., 2010)

Generalni uzroci s participacijom	**Specifični uzroci**	**Broj akcidenata**	**Učešće (%)**
Eksterni uzroci (8,32%)	Loši uslovi puta	18	3,74
	Loši vremenski uslovi	22	4,57
Greška menadžmenta (18,09%)	Prepunjavanje	29	6,03
	Ilegalni transport	28	5,82
	Greška u skladišnoj ili pretovarnoj opremi	11	2,29
	Vožnje u zabranjenim oblastima	3	0,62
	Greške u komunikaciji	14	2,91
	Drugo	2	0,42
Greške u opremi vozila (22,04%)	Loše gume	19	3,95
	Neispravnost kočnog sistema	16	3,33
	Loša konsolidacija tereta	24	4,99
	Neispravnost ventila na cisternama	16	3,33
	Korišćenje neatestirane opreme	11	2,29
	Nesipravni trčeći stroj vozila	6	1,25
	Ostalo	14	2,91
Greške vozača (51,55%)	Prekoračenje brzine	19	3,95
	Nedozvoljene radnje	20	4,16
	Saobraćajni udes	150	31,19
	Premor vozača	12	2,49
	Nepravilno reagovanje u vanrednim situacijama	44	9,15
	Drugo	3	0,62

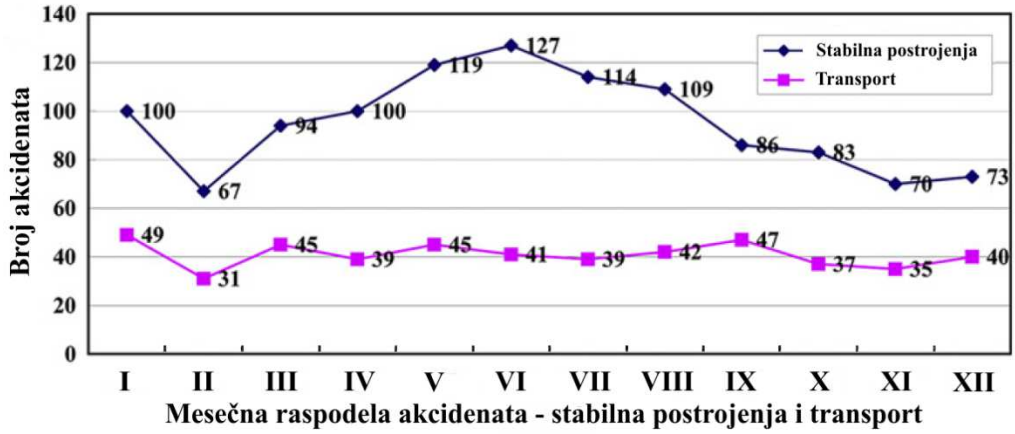
Najveći broj akcidenata se realizovao bez fatalnih posledica, sa rizikom p=0,86. Za akcidente s fatalnim posledicama komplementarne verovatnoće (1−p=0,14) struktura rizika je sledeća:

- od 1 do 5 poginulih po akcidentu, rizik r≈0,911,
- od 6 do 25 poginulih po akcidentu, rizik r≈0,067,
- više od 25 poginulih po akacidentu, rizik r≈0,022.

Jasnu komparaciju akcidenata u logističkom podsistemu transporta i „stacionarnih“ postrojenja koja su obuhvatila akcidente u logističkim podsistemima proizvodnje, pretovara, skladištenja i distribucije, nalazimo u jednom istraživanju iz Kine (Zhang i Zheng, 2012).

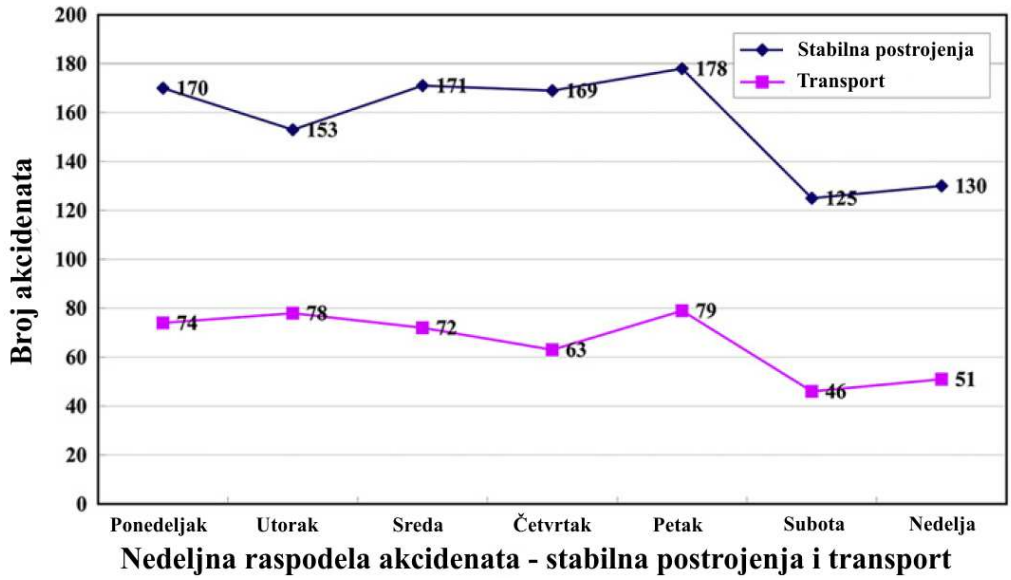
Raspodela broja akcidenata u toku godine daje jasnu poruku signifikantnog uticaja letnjih, toplijih meseci na povećanje rizika od akcidenta kod stabilnih postrojenja. U logističkom

podsistemu transporta raspodela akcidenata je ravnomerna (slika 1.4). Dobijeni rezultati upućuju na povećan rizik od akcidenta u logističkim podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara i distribucije tokom letnjih meseci. Slični zaključci ustanovljeni su i u jednom američkom istraživanju kojem je težište bilo na prirodi opasnih materija (Zimmerman i sar., 2008).



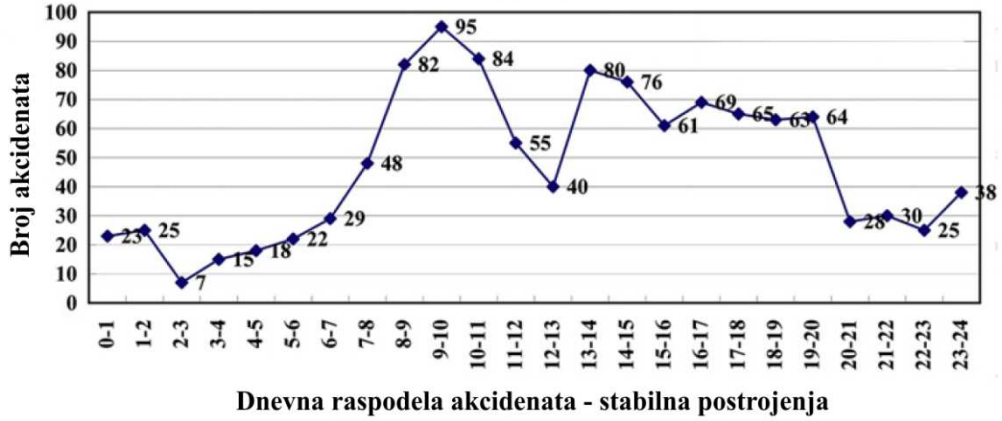
Slika 1.4 – Raspodela akcidenata opasnih materija u toku godine na stabilnim postrojenjima i u transportu (Zhang i Zheng, 2012)

U toku nedelje, aktivnost radnih i neradnih dana takođe značajno utiče na rizike u logističkim podsistemima transporta i komplementarnim logističkim podsistemima koja su svedena u grupu stabilna postrojenja. Vikendom je rizik od akcidenata manji, ali zbog smanjenog obima rada s opasnim materijama. Kao i u slučaju godišnje raspodele, rizik od akcidenta opasnih materija u logističkom podsistemu transporta je za oko 2,0 do 2,3 puta manji nego rizik u stabilnim postrojenjima, tj. komplementarnim logističkim podsistemima (slika 1.5).



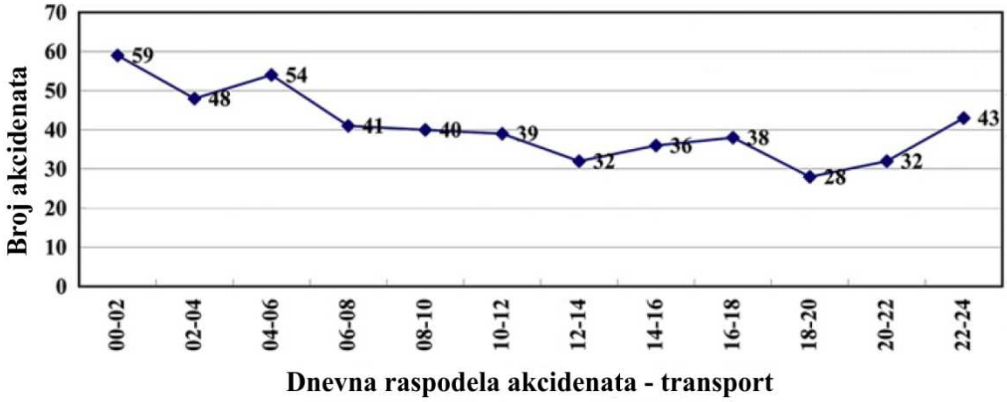
Slika 1.5 – Nedeljna raspodela akcidenata u logističkim podsistemima sa stabilnim postrojenjima i u transportu (Zhang i Zheng, 2012)

Povećanje intenziteta proizvodnje u pogonima, skladištenje proizvoda i pretovar – priprema za otpremu (od 8h do 9h: 82 akcidenta, od 9h do 10h: 95 akcidenata i od 10h do 11h: 84 akcidenta, prve tri dnevne vrednosti) očigledno indukuju povećan broj akcidenata u jutarnjim časovima. U periodu od 11h do 14h dolazi do pada vrednosti u broju akcidenata (stabilizacija proizvodnje) a u periodu od 14h do 20h raspodela akcidenata opet dostiže nivo većih rizika koji je približno ravnomeran. Ovom periodu odgovara povećanje aktivnosti pretovara ili pretakanja u distributivna skladišta. Preko noći, sa smanjenjem proizvodnih aktivnosti, smanjuju se intenziteti skladišnih i pretovarnih aktivnosti, pa samim tim i broj akcidenata (slika 1.6).



Slika 1.6 – Dnevna raspodela akcidenata u stabilnim postrojenjima (Zhang i Zheng, 2012)

Za razliku od stabilnih postrojenja koja najmanji broj akcidenata realizuju u noćnim satima (od 20h do 7h), u transportu opasnih materija je period od 22h do 6h najrizičniji i u najvećoj meri se odnosi na saobraćajne nesreće, dakle indirektnu indukciju neželjenih efekata od opasnih materija (slika 1.7).



Slika 1.7 – Dnevna raspodela akcidenata u transportu (Zhang i Zheng, 2012)

Troškovi sanacije akcidenata su takođe proračunati, ali samo za drumski transport. Uopšte, za troškove sanacije akcidenata se uzimaju najrealniji, oni koji su ustanovljeni putem sudskih procesa. Za železnički, avio i vodni ovi troškovi nisu sistematizovani. Takođe, nisu sitematizovani ni za ostale logističke podsisteme. Treba napomenuti da vrednosti troškova

sanacije značajno variraju od države do države. Npr. isti broj nastradalih u Indiji ili zemljama EU, za iste ili slične opasne materije i slične preostale uslove, neće biti isto vrednovani. Jedan dobar primer sistematizacije troškova od akcidenta ali samo za drumski transport, prikazan je u tabeli 1.3.

Tabla 1.3. Komparativni troškovi akcidenata bez učešća i s učešćem opasnih materija u drumskom transportu (Erkut i sar., 2007)

Vrsta događaja akcidenta/incidenta	Srednji troškovi sanacije US$	Prosečna obustava saobraćaja (sati)
Akcidenti bez učešća opasnih materija	340 000.00	2
Akcidenti s inertnim učešćem opasnih materija	414 000.00	-
Isticanje/curenje – opasne materije	536 000.00	5
Vatra – opasna materija	1 200 000.00	8
Eksplozija – opasne materije	2 100 000.00	12

Ukupno, mnogobrojni su aspekti istraživanja akcidenata sopasnim materijama. Pokušaj njihove generalizacije trenutno nije izvodljiv. Potrebna generalizacija će biti moguća tek po potpunoj harmonizaciji svih uslova u svim logističkim podsistemima. Sagledavajući razlike u opštoj razvijenosti tehničkih i pravnih sistema svih svetskih država, predstoji dug put do tražene generalizacije. Predmetni rad je primarno zasnovan na potrebama generalizacije.

1.2. Struktura rada

Posle uvoda, u drugom delu rada dat je osnovni opis izvora podataka – baze akcidenata „FACTS“ i sistem izbora 9 476 akcidenata za 19 opasnih materija: eksplozivi (131 akcident), kiseonik (270 akcidenata), metan (114 akcidenata), poliuretan (61 akcident), pogonski benzin (844 akcidenta), fluorovodonična kiselina (101 akcident), metanol (198 akcidenata), tečni nafni gas (779 akcidenata), vodonik (339 akcidenata), prirodni gas (181 akcident), etanol (111 akcidenata), dizel gorivo (896 akcidenata), amonijak dehidrirani (261 akcident), amonijak (553 akcidenata), sumporna kiselina (454 akcidenta), zemno ulje (1 350 akcidenata), hlor (536 akcidenata), azotna kiselina (225 akcidenata), hlorovodonična kiselina (436 akcidenata). Za svaki akcident ustanovljen je ishod bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama. Svi akcidenti su raspodeljeni po logističkim sistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i distribucije. Za svaku opasnu materiju dat je detaljan grafički prikaz raspodele akcidenata po ishodu i logističkom podsistemu. Podsistem transporta ima još jedan nivo sistematizacije: na vazdušni, vodni rečni, vodni pomorski, železnički, drumski i cevni. Analiza opasnih materija upotpunjena je fizičko-hemijskim osobinama, opisom rukovanja, merama zaštite i kraćim opisom reprezentativnog akcidenta. Za 16 od 19 opasnih materija procenjen je

rizik od akcidenta po proizvedenoj toni godišnje. U zavisnosti od dostupne literature i objavljenih istraživanja, za neke opasne materije opisan je mehanizam delovanja.

U trećem delu rada je proračunavan i kompariran rizik od akcidenta za svaku opasnu materiju u logističkim podsistemima. Detaljno je opisan predloženi protokol statističke analize podataka. Dvodimenzionalna slučajna promenljiva je formirana preko marginalnih raspodela akcidenata prema ishodu i lokaciji (u kojem logističkom podsistemu se realizovao akcident). Proizvodom marginalnih raspodela formirana je teorijska raspodela za koju je usvojeno da predstavlja proizvod nezavisnih događaja. Empirijska raspodela je proistekla iz sistematizacije akcidenata. Komparacija teorijskih i empirijskih podataka o akcidentima izvedena je s različitim pragovima značajnosti. Drugi deo rada ima izrazit praktičan zanačaj zbog statističkog uočavanja logističkog podsistemia s najvećim rizikom za izabranu opasnu materiju.

U četvrtom delu je primenom Bajesove teoreme za neke opasne materije izveden proračun apriori verovatnoća, tj. rizika od akcidenta, u svim logističkim podsistemima izabrane opasne materije. Ovaj deo rada ima izrazit teorijski značaj. Uz adekvatne baze podataka o raspodelama tokova opasnih materija, s lakoćom se aktivira upotreba modela za potrebe prakse.

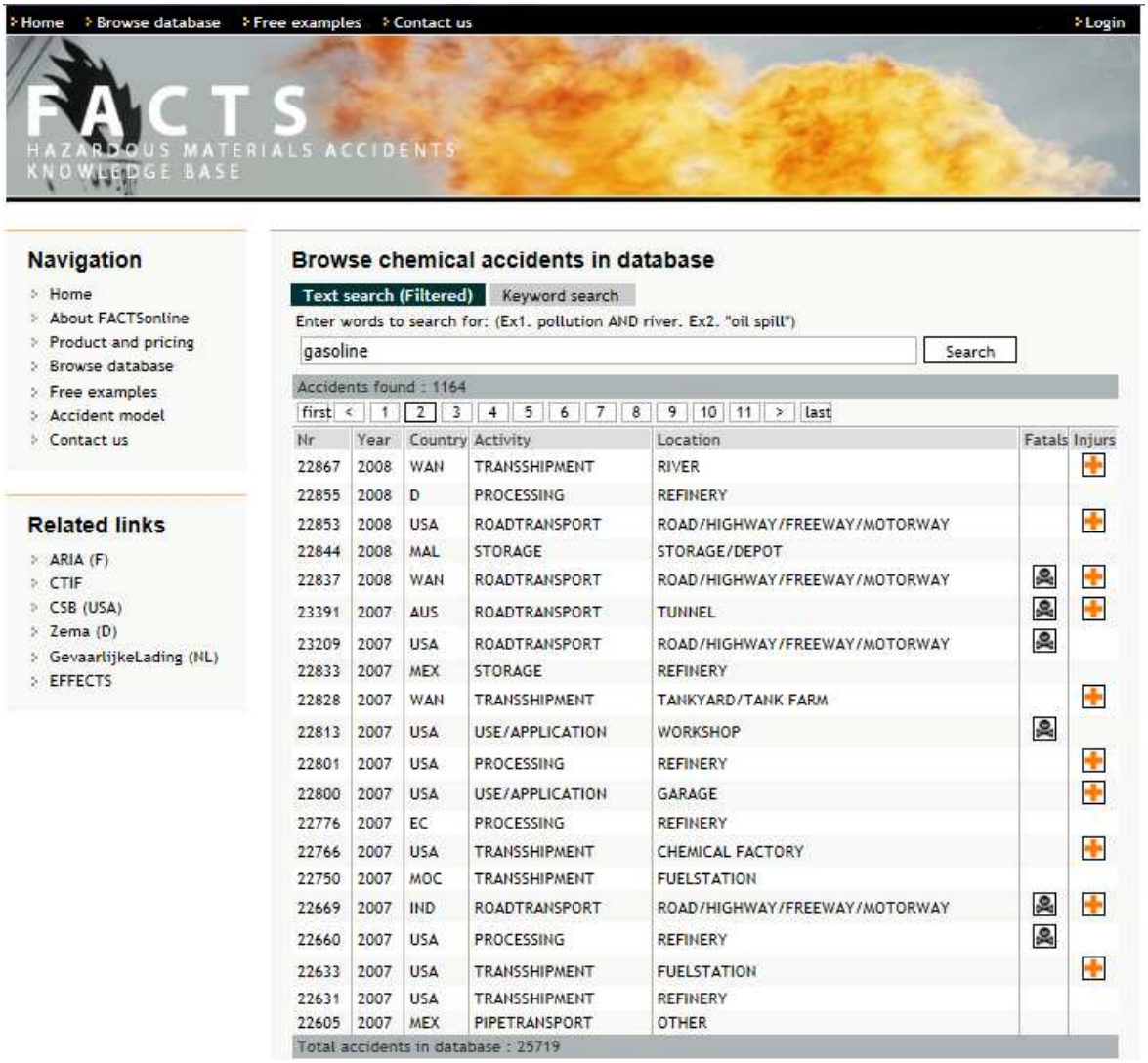
Standardan postupak vođenja diskusije, preporuke i zaključak su završni deo rada.

Literatura, prilozi, spiskovi slika i tabela dati su na kraju rada.

2. STRUKTURA UZORKA, OSNOVNE OSOBINE I REPREZENTATIVNI AKCIDENTI IZABRANIH OPASNIH MATERIJA

2.1. Opis uzorka

Na osnovu podataka iz baze FACTS (slika 2.1.) izabrano je 9476 akcidenata iz perioda od 1980. godine do danas. Svaki akcident ima svoj ključni broj u bazi podataka, godinu i državu u kojoj se realizovao, podatak o logističkom podsistemu u kojem se realizovao (proizvodnja, skladištenje, pretovar, transport i upotreba) i ishode: broj nastradalih (fatalnih ishoda) i broj povređenih. U zavisnosti od prikupljenih podataka, kvalitet izveštaja varira u podacima o materijalnim štetama na postrojenjima, javnoj infrastrukturi ili za ekološke posledice, itd.



Slika 2.1- Baza akcidenata FACTS

Transport i upotreba imaju podele po vidovima transporta (avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni) a upotreba ima podelu za dalje procesiranje (kada je opasna materija sirovina, a ne gotov proizvod: npr. vodonik u proizvodnji amonijaka, sumporna kiselina u proizvodnji hlorovodonične kiseline, azotna kiselina u proizvodnji eksploziva, itd.), upotreba u laboratorijskim istraživanjima, tretiranju otpada, itd. Pored upotrebe pridružen je pojam distribucije, koji se odnosi uglavnom na energente kao što su pogonski benzin ili dizel gorivo. Uvođenje ovoga pojma bilo je neophodno zbog njihovog načina raspodele u potrošnji, preko benzinskih pumpi. Naime, pumpne stanice imaju odlike logističkog podsistema skladištenja i pretovara, ali se pre svega kapacitativno razlikuju od rafinerijskih skladišta i pretovarnih sistema proizvodnih prijemno-otpremnih skladišta.

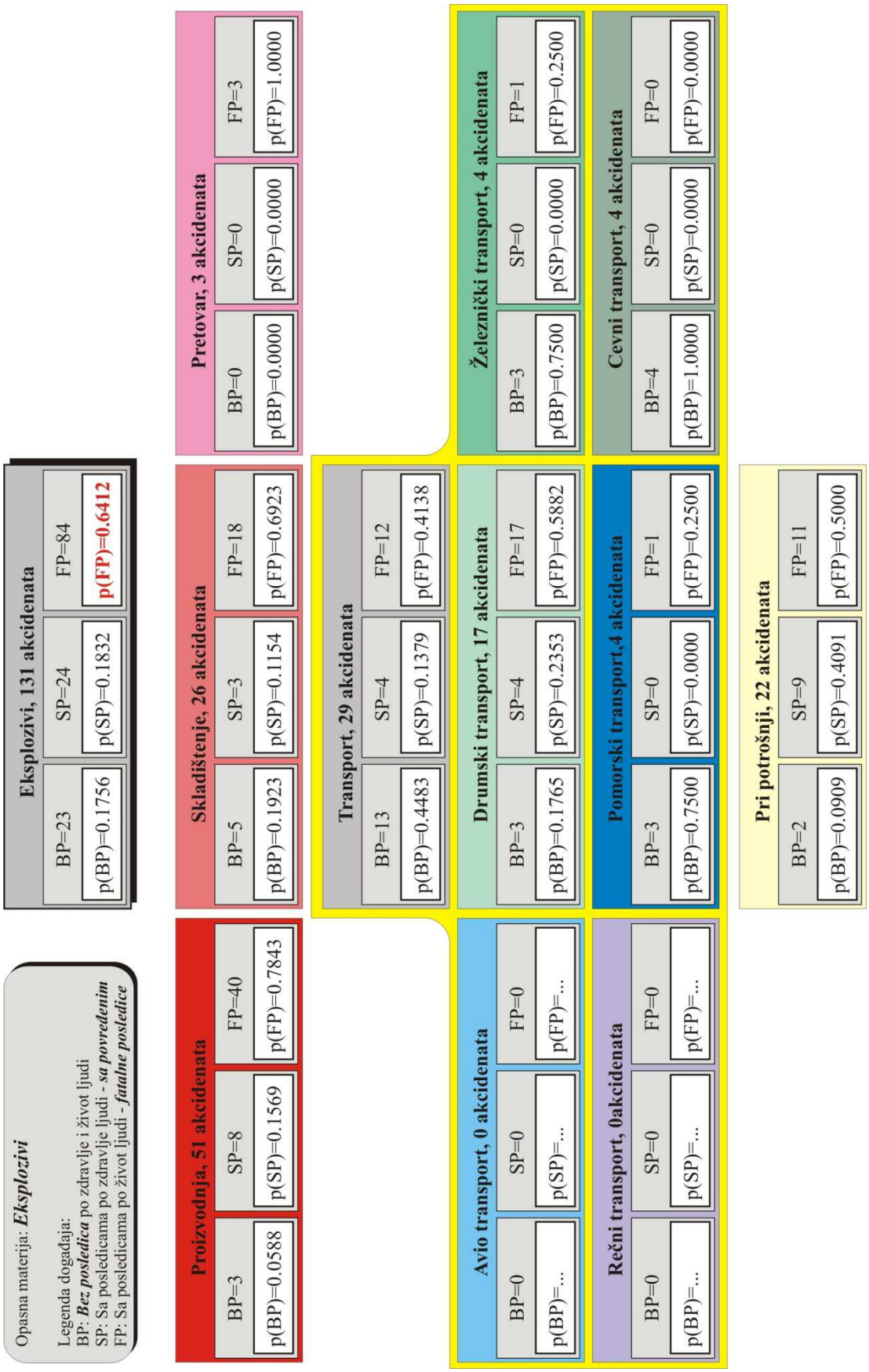
Za 19 izabranih opasnih materija pored broja akcidenata, respektivno su date vrednosti ishoda bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama BP/SP/FP:

- **Eksplozivi:** 131 akcident (BP/SP/FP: 23/24/84),
- **Kiseonik:** 270 akcidenata (BP/SP/FP: 99/75/96),
- **Metan:** 114 akcidenata (BP/SP/FP: 44/30/44),
- **Poliuretan:** 61 akcident (BP/SP/FP: 20/20/21),
- **Pogonski benzin:** 844 akcidenta (BP/SP/FP: 379/187/278),
- **Fluorovodonična kiselina:** 101 akcident (BP/SP/FP: 39/38/24),
- **Metanol:** 198 akcidenata (BP/SP/FP: 105/51/42),
- **Tečni nafni gas:** 779 akcidenata (BP/SP/FP: 416/199/164),
- **Vodonik:** 339 akcidenata (BP/SP/FP: 177/91/71),
- **Prirodni gas:** 181 akcident (BP/SP/FP: 1040/438/330),
- **Etanol:** 111 akcidenata (BP/SP/FP: 58/34/19),
- **Dizel gorivo:** 896 akcidenata (BP/SP/FP: 598/157/141),
- **Amonijak dehidrirani:** 261 akcident (BP/SP/FP: 119/105/37),
- **Amonijak:** 553 akcidenta (BP/SP/FP: 257/218/78),
- **Sumporna kiselina:** 454 akcidenta (BP/SP/FP: 242/153/59),
- **Zemno ulje:** 1 350 akcidenata (BP/SP/FP: 1054/140/156),
- **Hlor:** 536 akcidenata (BP/SP/FP: 181/318/37),
- **Azotna kiselina:** 225 akcidenata (BP/SP/FP: 146/67/12),
- **Hlorovodonična kiselina:** 436 akcidenata (BP/SP/FP: 237/179/20).

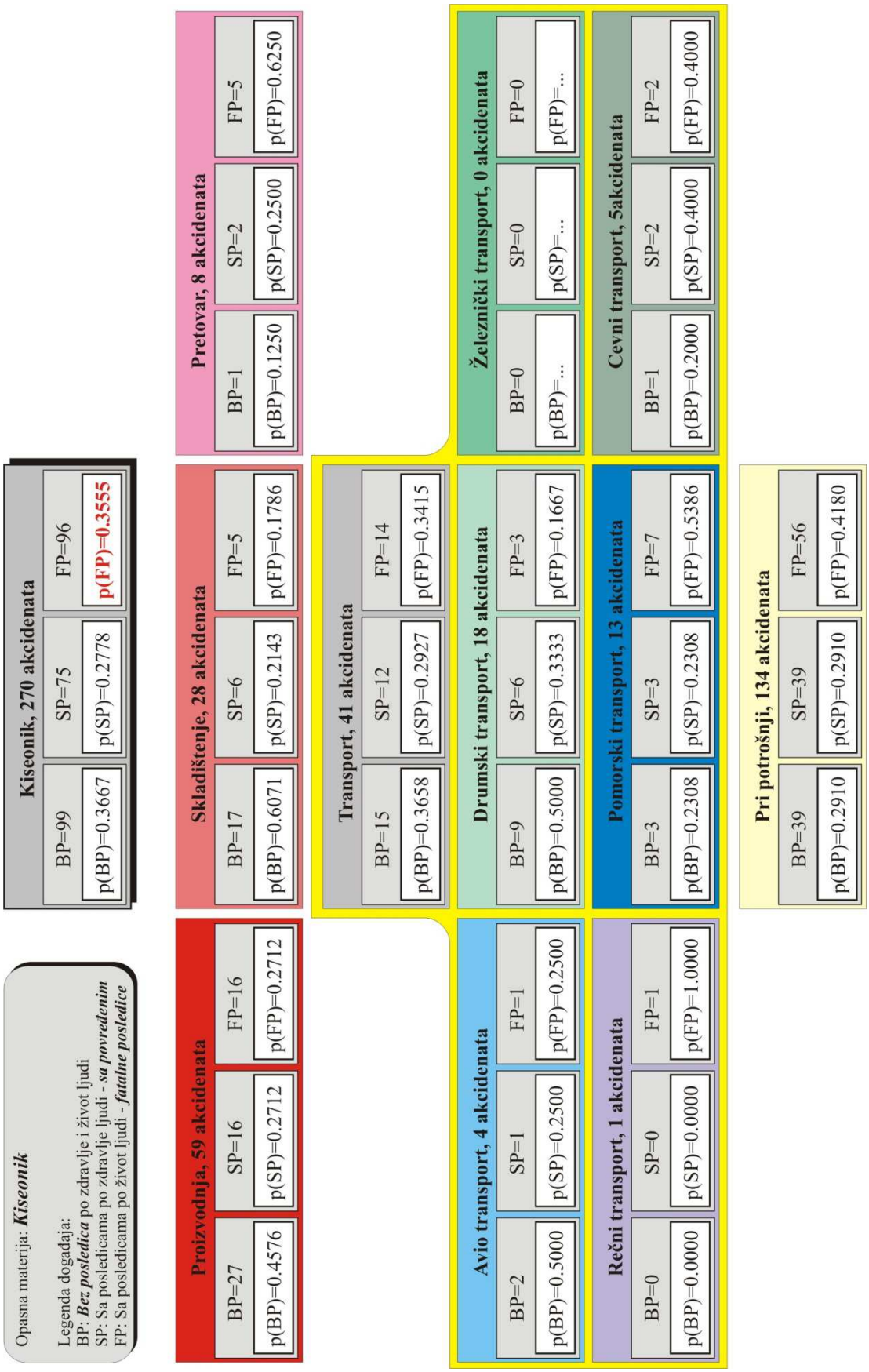
Proračun aposteriori verovatnoća ishoda akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama na osnovu podataka dat je u tabeli 2.1. Detaljna raspodela posledica akcidenata po logističkim podsistemima za svaku opasnu materiju data je na slikama od 2.2. do 2.20. Redosled izlaganaja opasnih materija usvojen je na osnovu vrednosti aposteriori verovatnoća najtežih, fatalnih posledica.

Tabela 2.1 - Aposteriori verovatnoće posledica za izabrane opasne materije

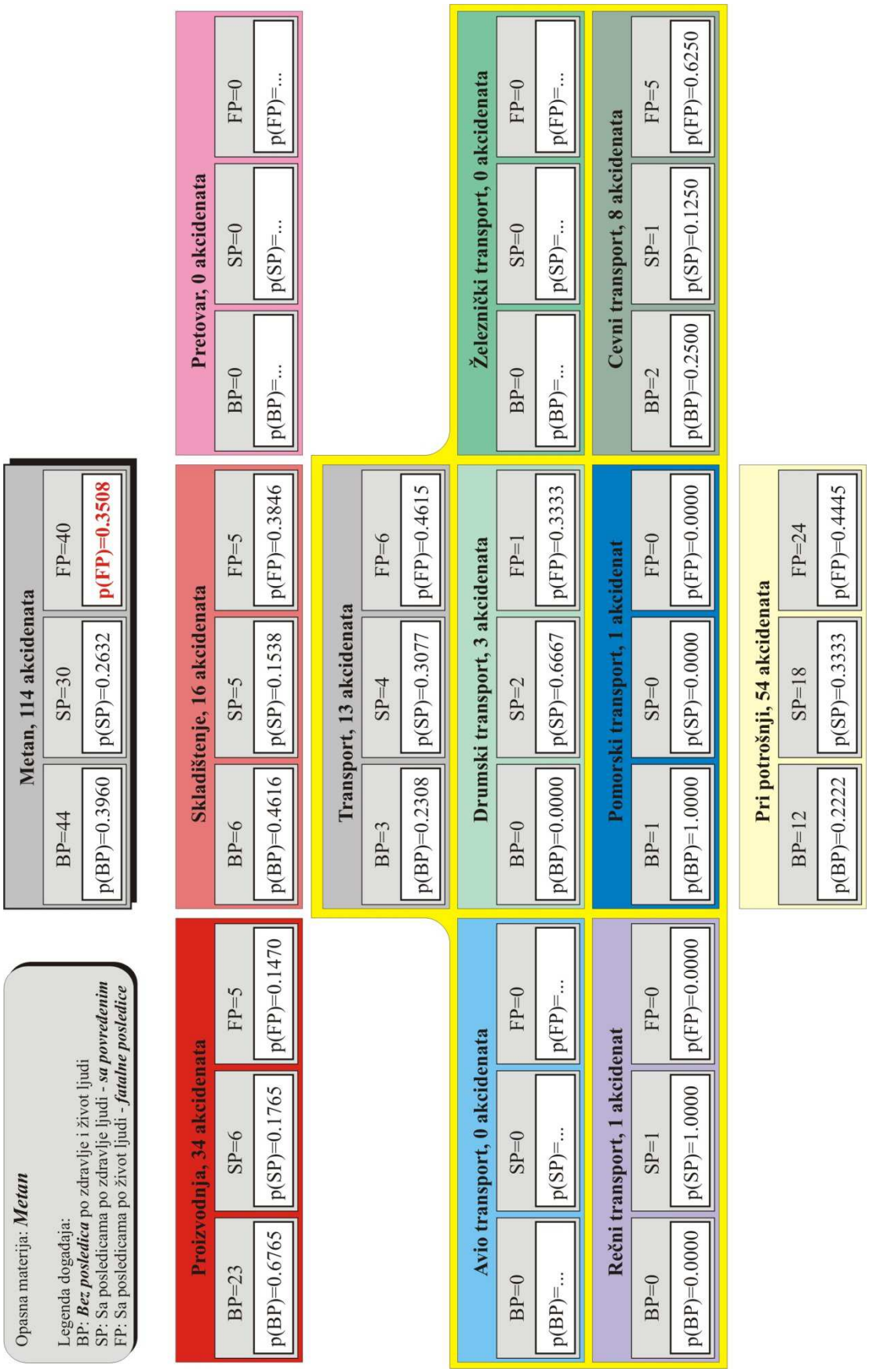
	Opasna materija	**Broj akcid.**	**Bez posledica**	**S povređenima**	**Fatalne posledice**
1.	Eksplozivi	131	23/131=0.1756	24/131=0.1832	84/131=0.6412
2.	Kiseonik	270	99/270=0.3667	75/270=0.2778	96/270=0.3555
3.	Metan	114	44/114=0.3590	30/114=0.2632	40/114=0.3508
4.	Poliuretan	61	20/61=0.3279	20/61=0.3279	21/61=0.3442
5.	Automobilski benzin	844	379/884=0.4491	187/884=0.2216	278/884=0.3293
6	Fluorovodonična kis.	101	39/101=0,3862	38/101=0,3762	24/101=0,2376
7	Metanol	198	105/198=0,5304	51/198=0,2575	42/198=0,2121
8.	Tečni naftni gas	779	416/779=0.5340	199/779=0.2554	164/779=0.2106
9.	Vodonik	339	177/339=0.5222	91/339=0.2684	71/339=0.2094
10.	Prirodni gas	1808	1040/1808=0,5752	438/1808=0,2423	330/1808=0.1825
11.	Etanol	111	58/111=0.5225	34/111=0.3063	19/111=0.1712
12.	Dizel gorivo	896	598/896=0.6674	157/896=0.1752	141/896=0.1574
13.	Amonijak dehid.	261	119//261=0.4559	105/261=0.4023	37/261=0.1418
14.	Amonijak	553	257/553=0.4647	218/553=0.3942	78//553=0.1414
15.	Sumporna kis.	454	242/454=0.5330	153/454=0.3370	59/454=0.1300
16.	Zemno ulje	1350	1054/1350=0.7807	140/1350=0.1037	156/1350=0.1156
17.	Hlor	536	181/536=0.3377	318/536=0.5933	37/536=0.0690
18.	Azotna kiselina	225	146/225=0.6489	67/225=0.2978	12/225=0.0533
19.	Hlorovodonična kis.	436	237/436=0.5436	179/436=0.4105	20/436=0.0459



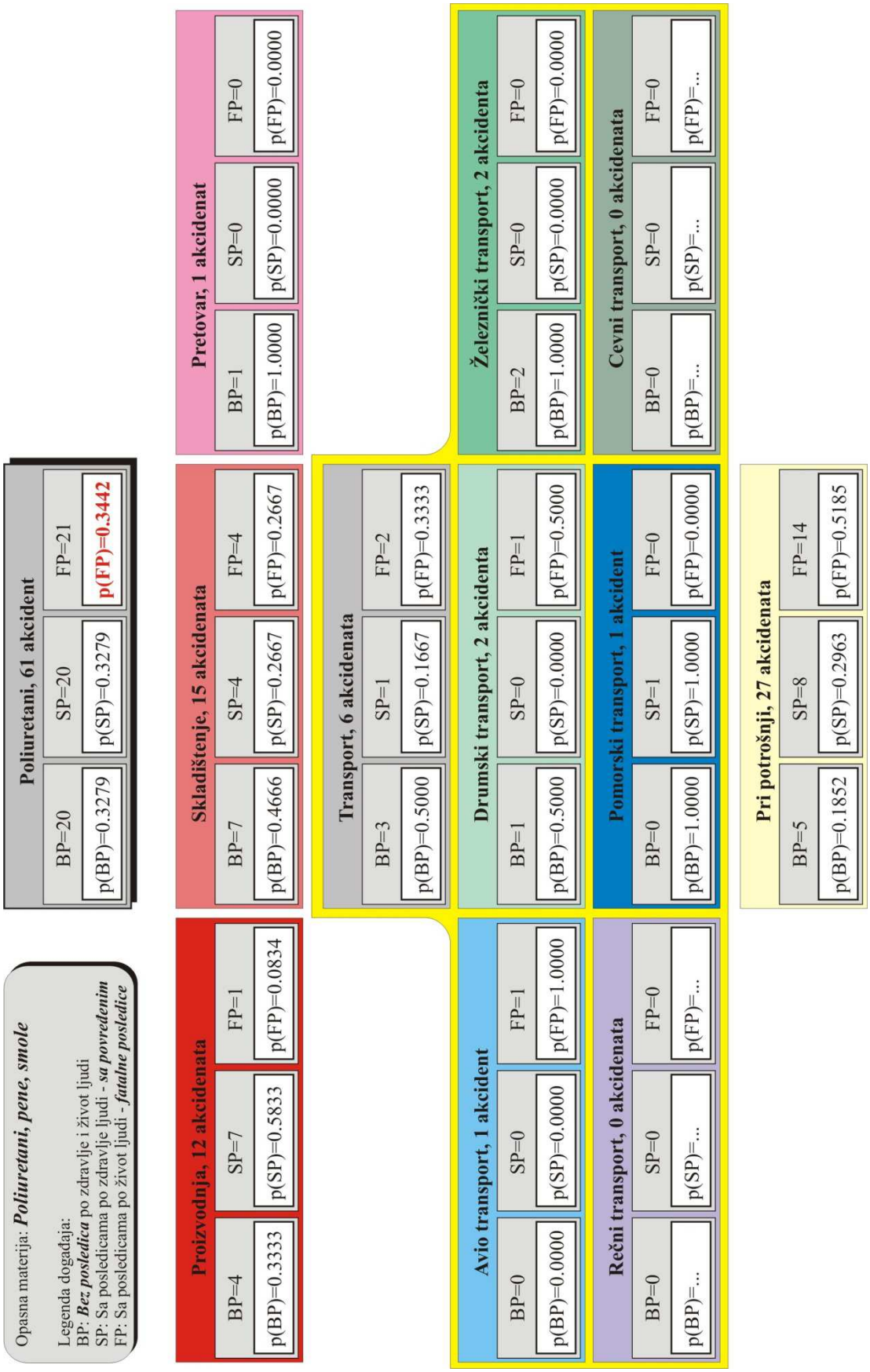
Slika 2.2 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „eksploziv“



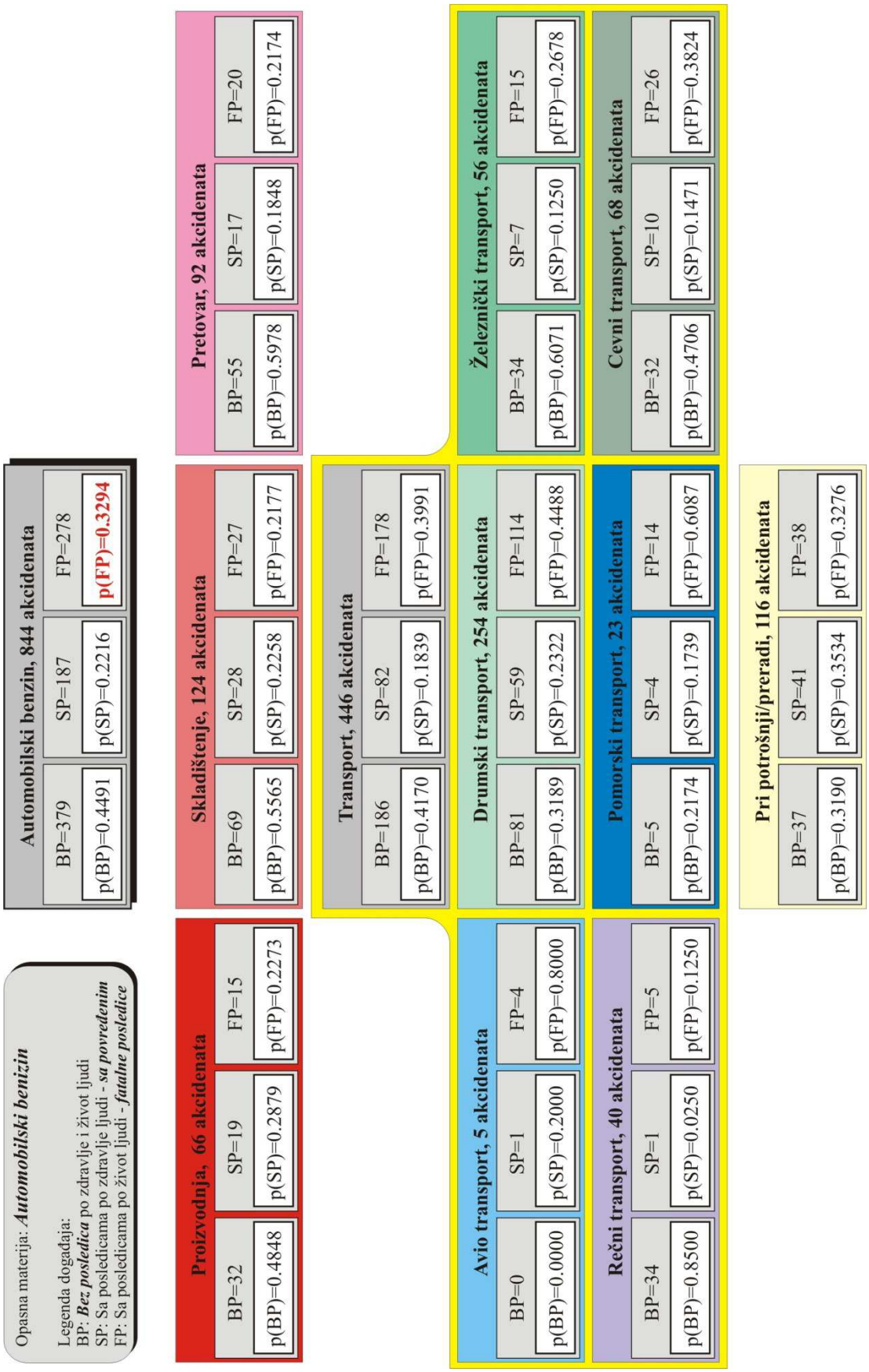
Slika 2.3- Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „kiseonik“



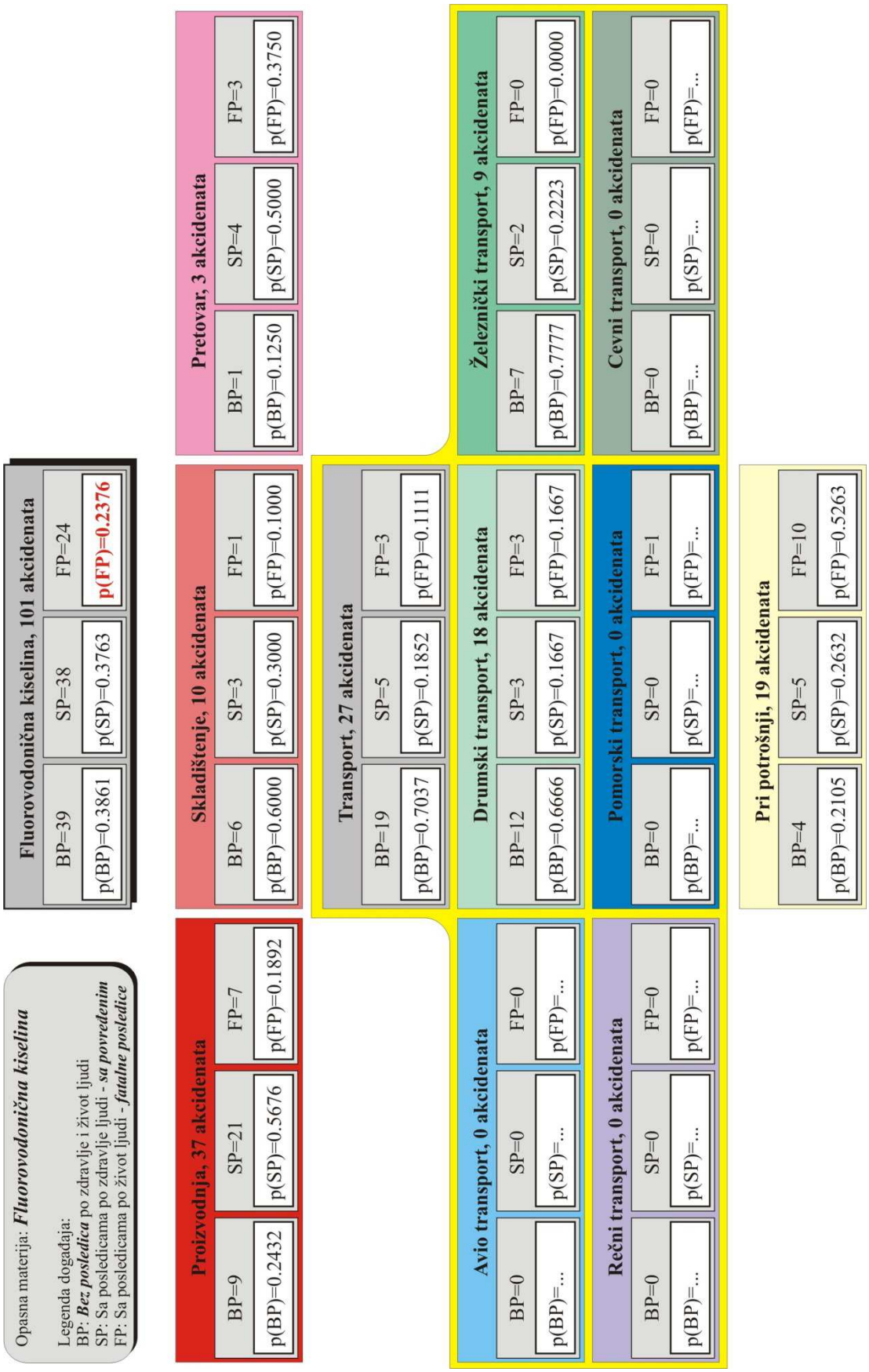
Slika 2.4 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „metan“



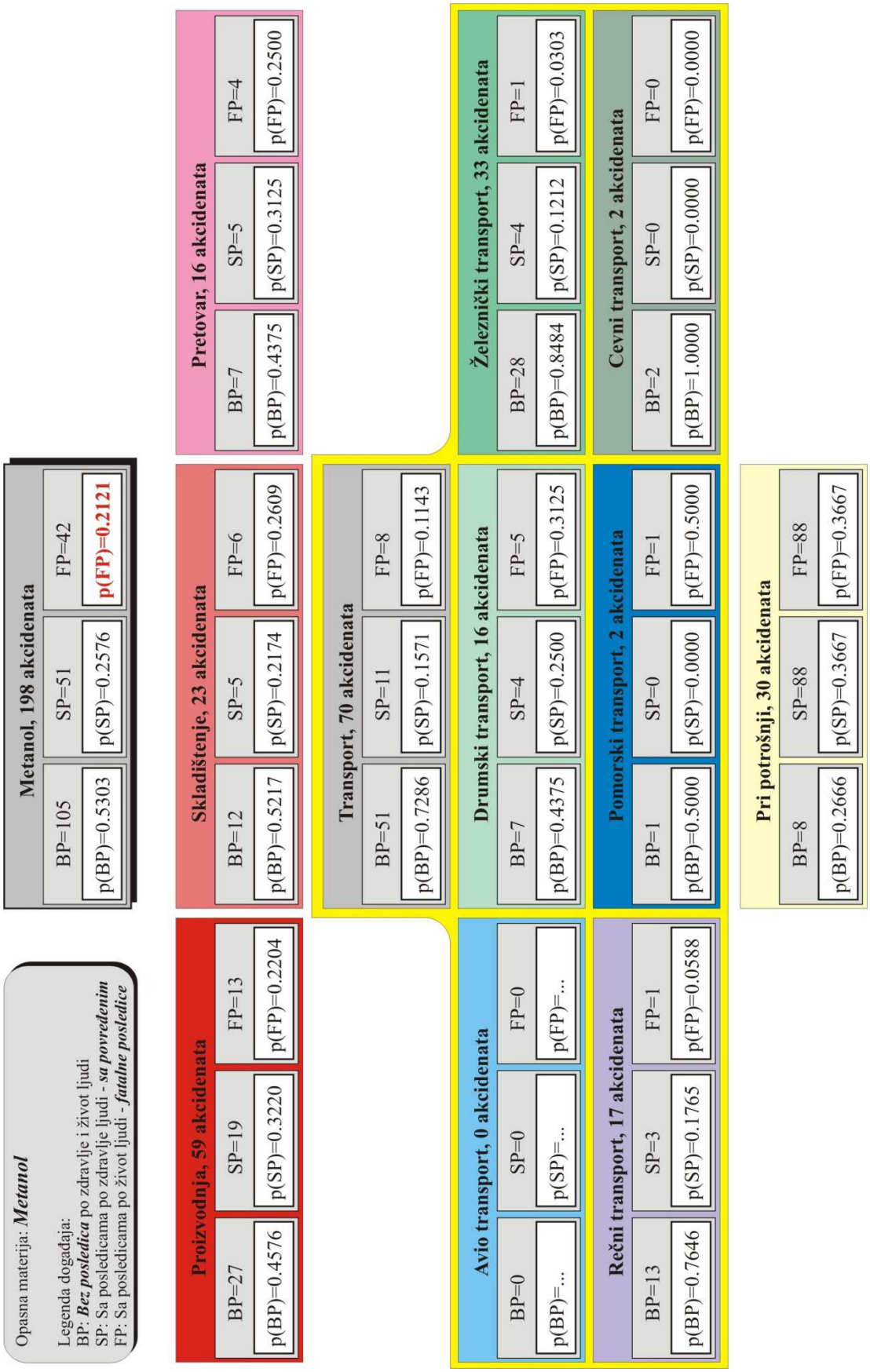
Slika 2.5 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „poliuretan, pene, smole“



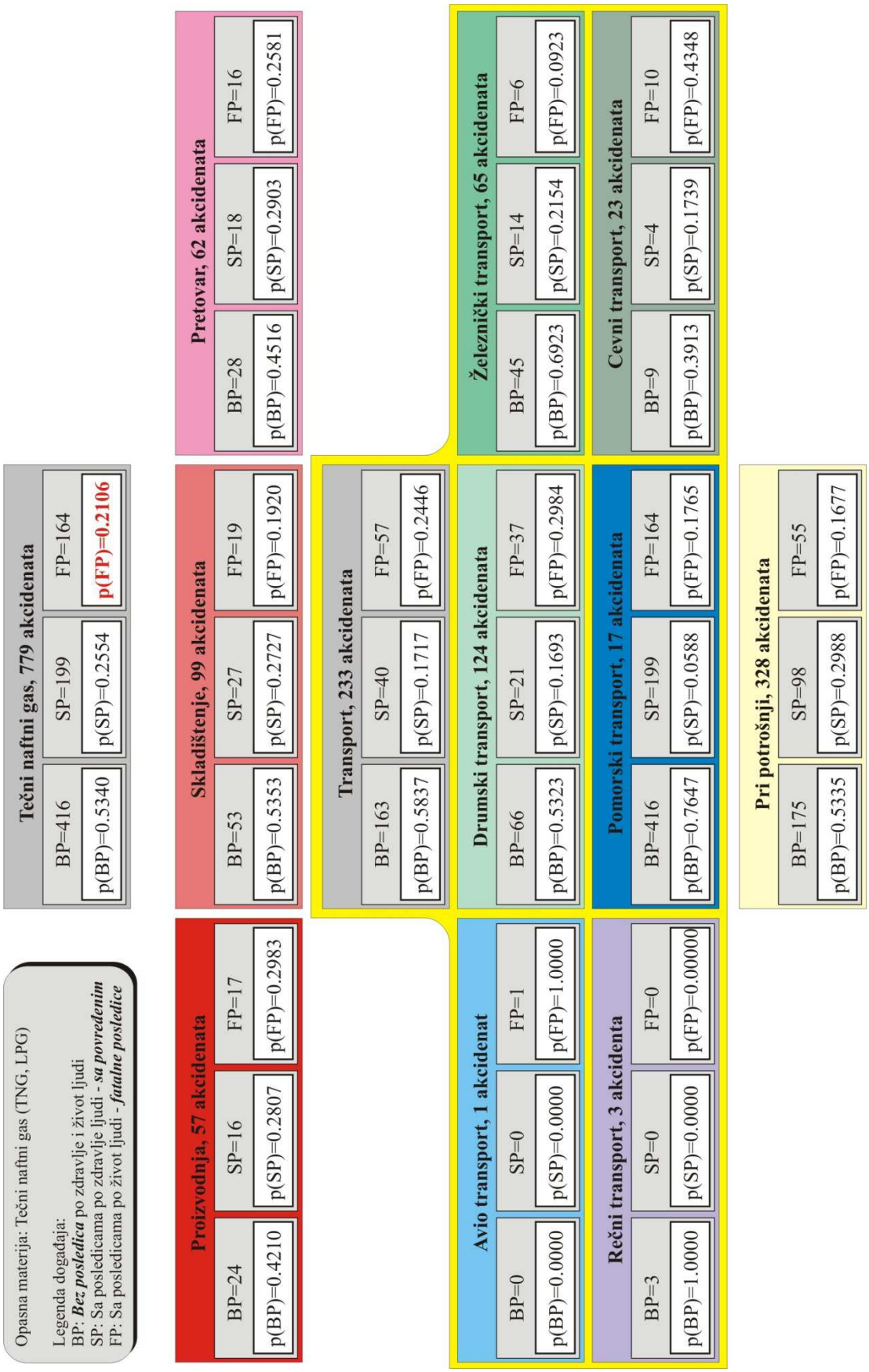
Slika 2.6 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „pogonski benzin“



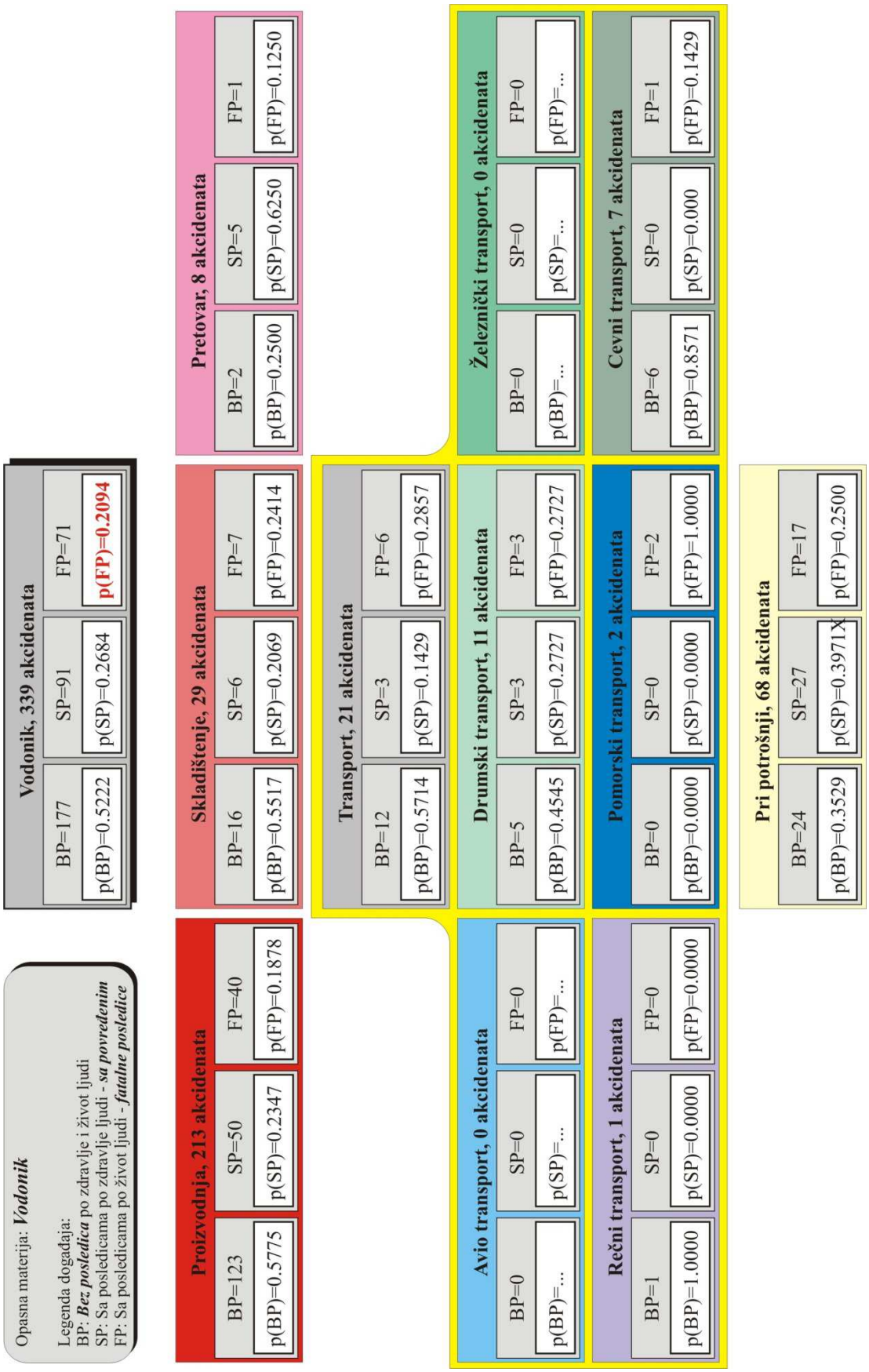
Slika 2.7 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“



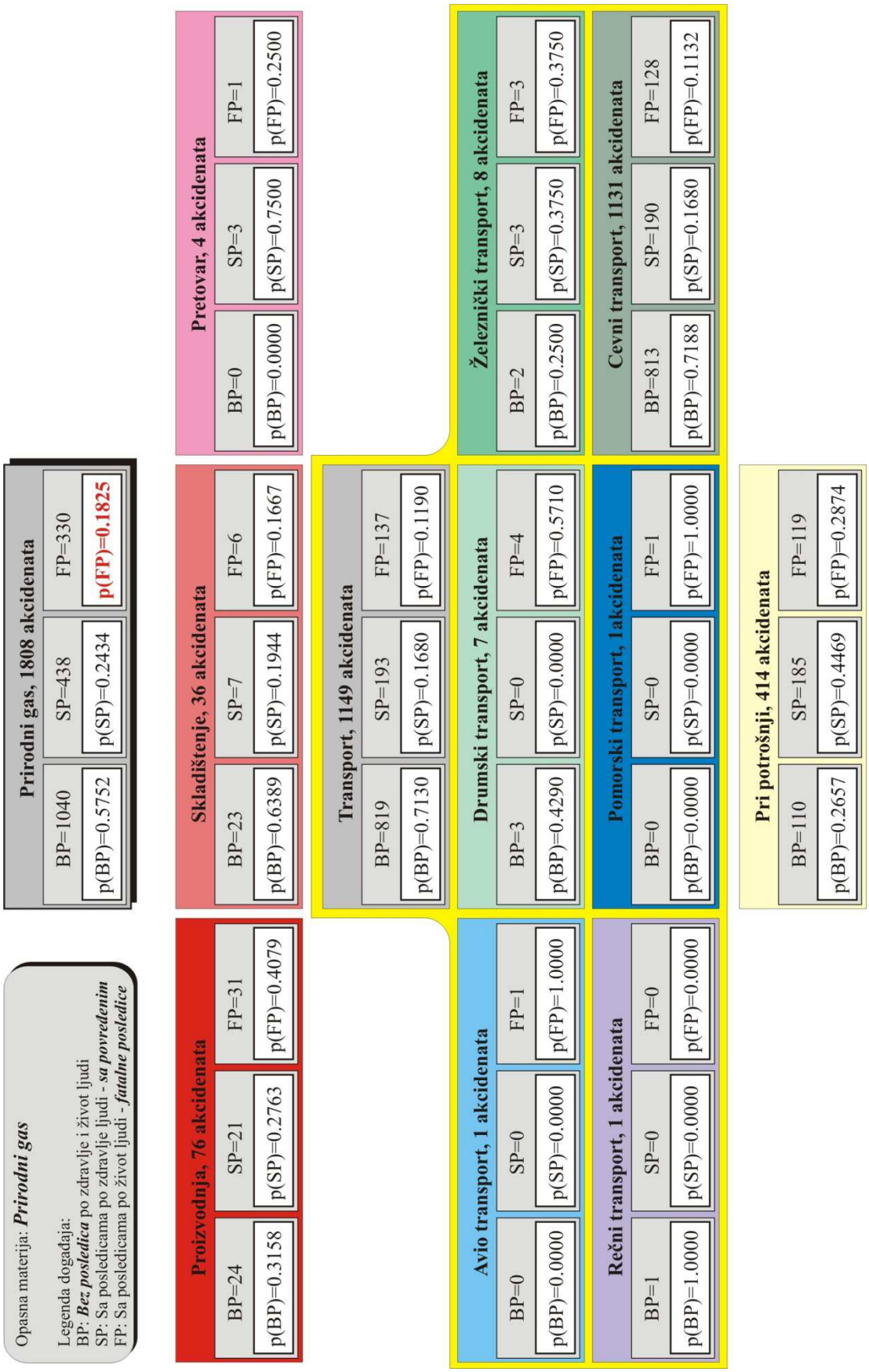
Slika 2.8 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „metanol“



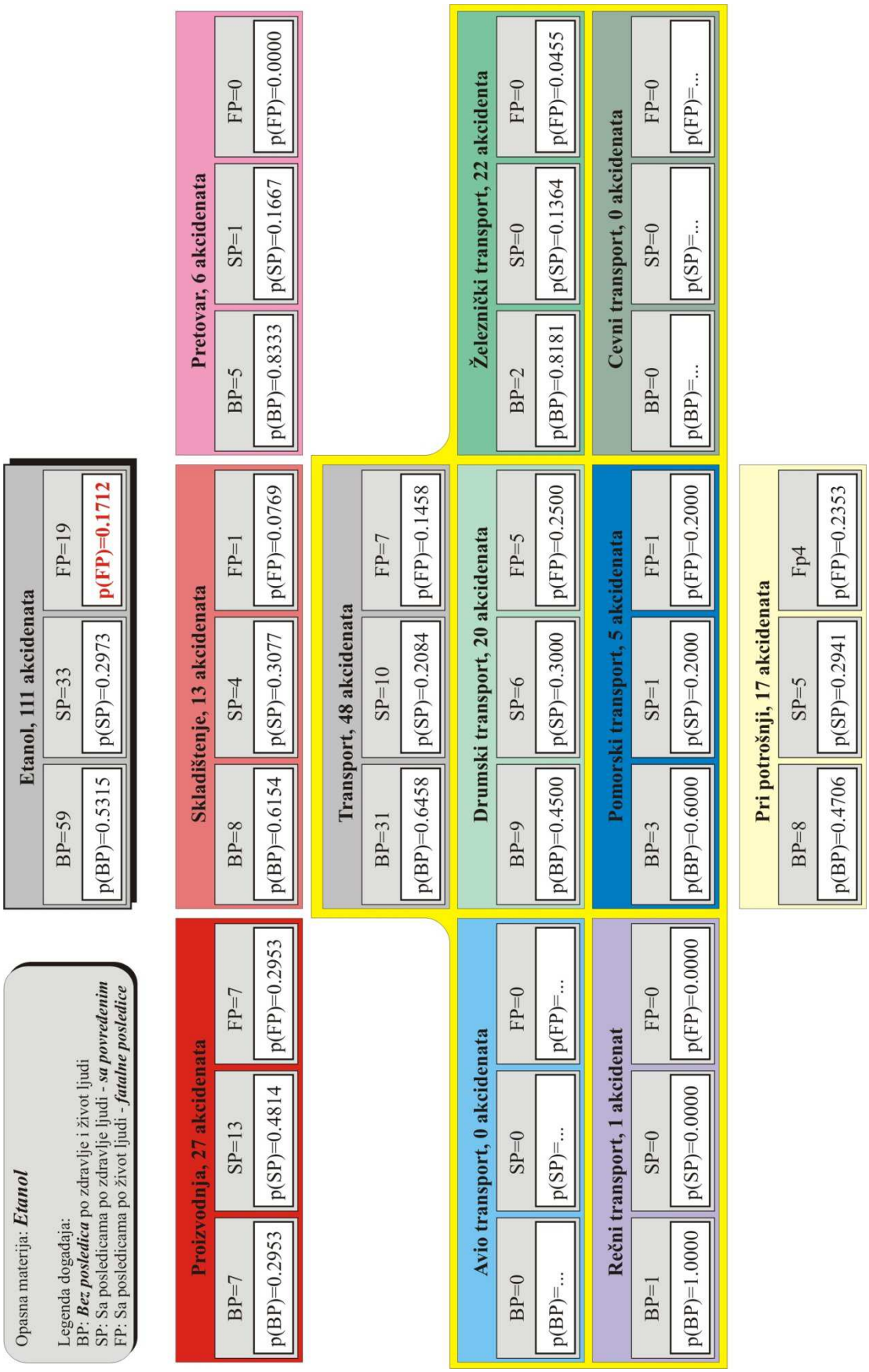
Slika 2.9 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „tečni naftni gas“



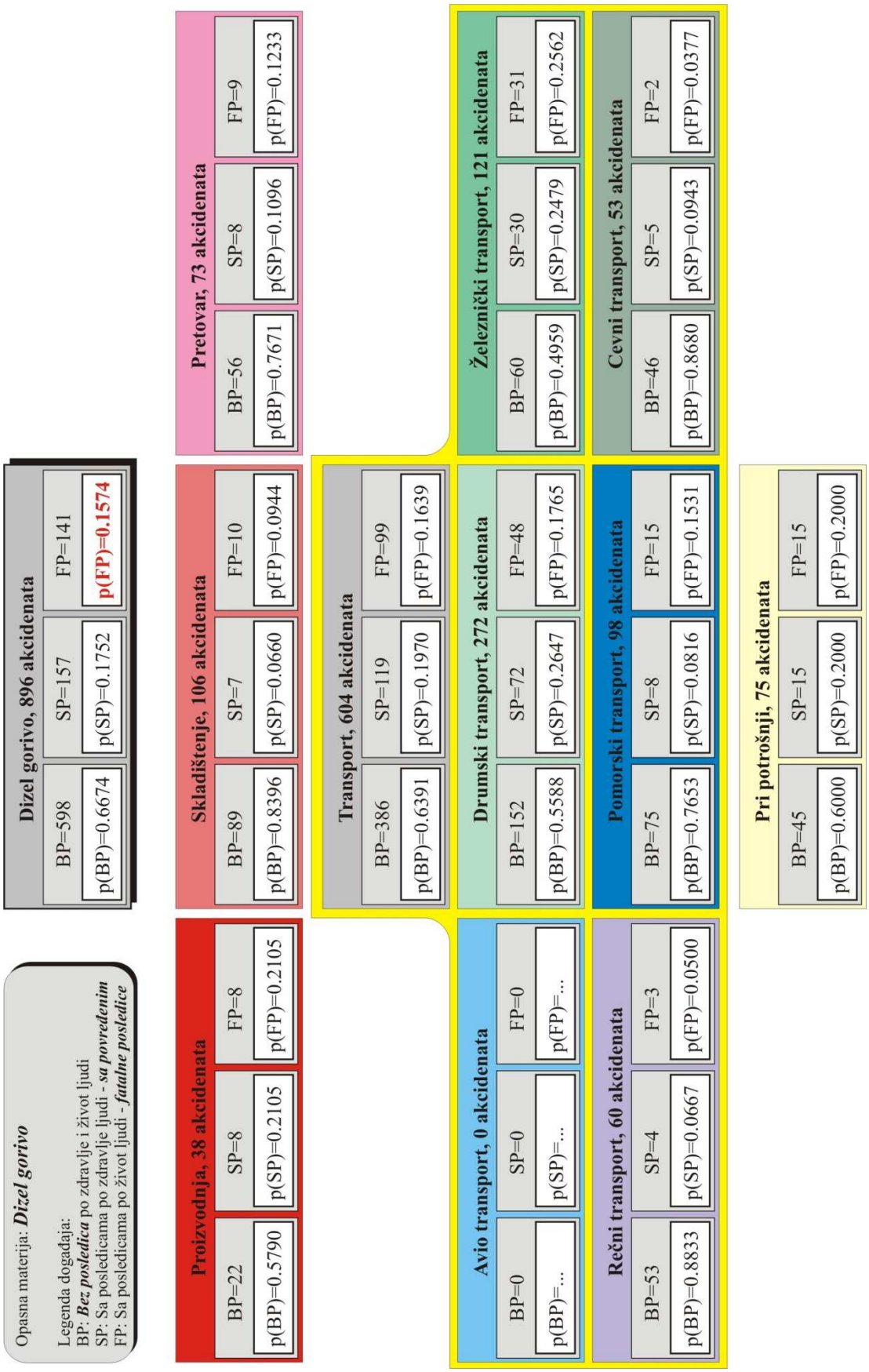
Slika 2.10 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „vodonik“



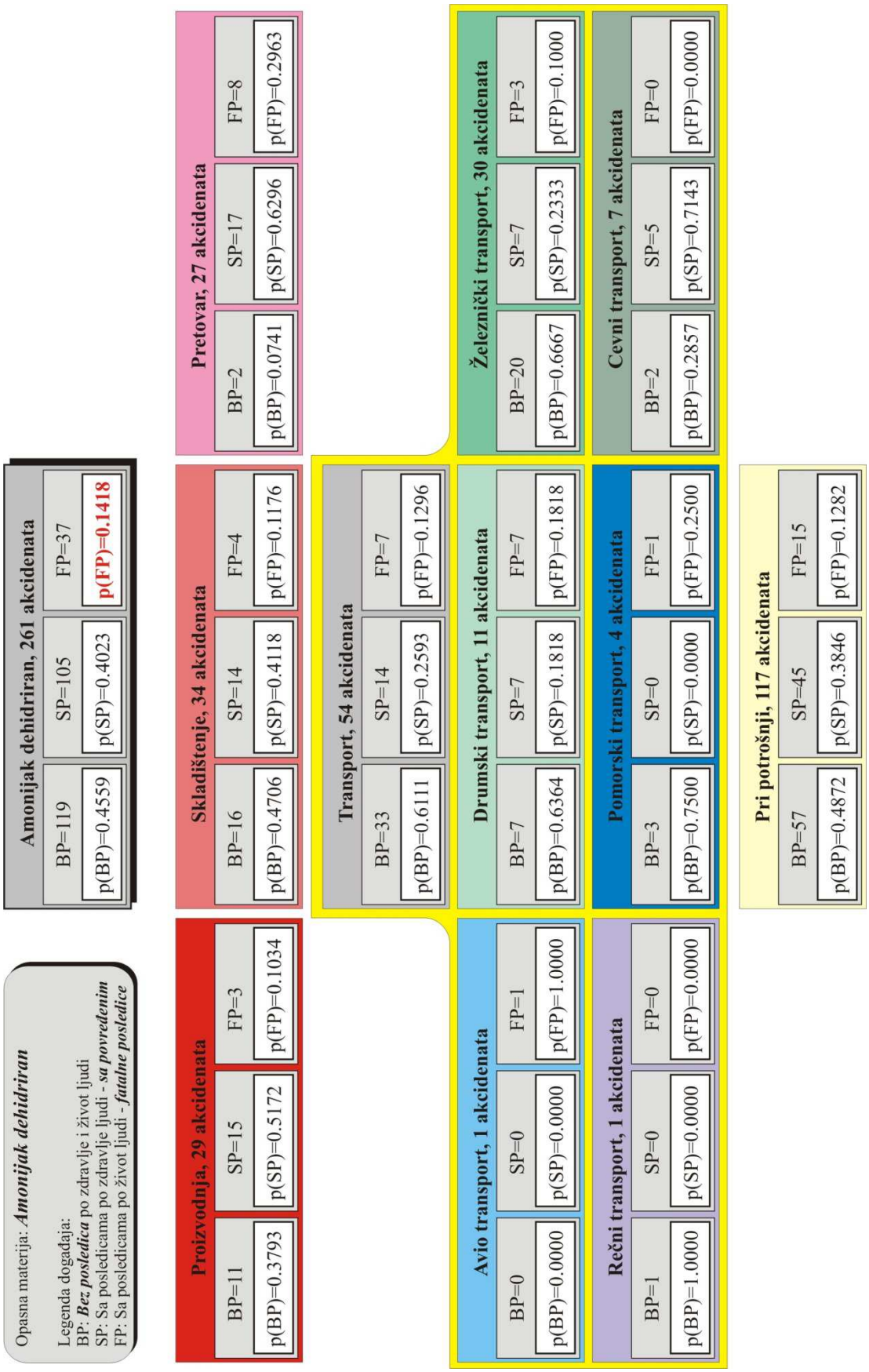
Slika 2.11 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „prirodni gas“



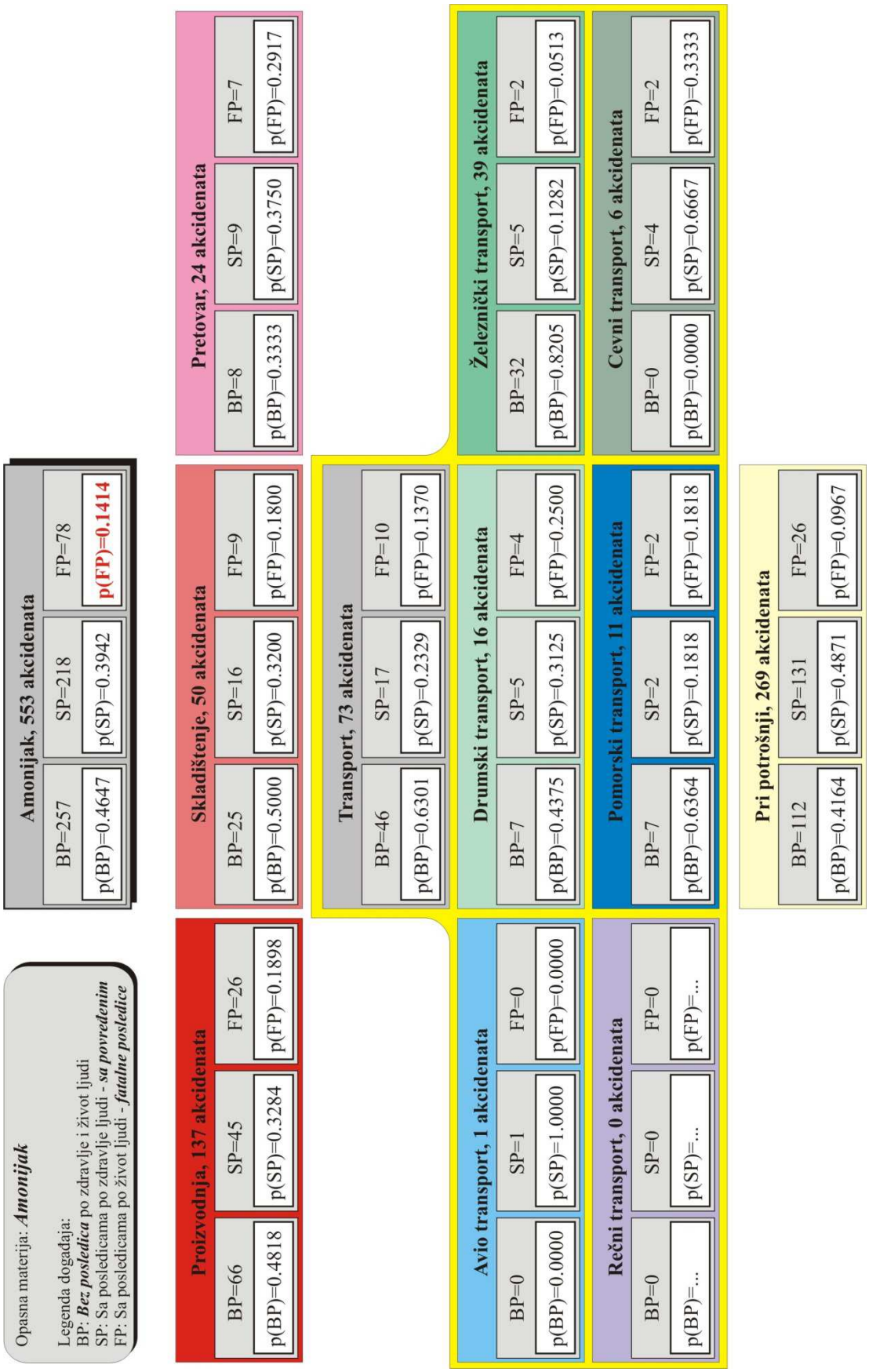
Slika 2.12 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „etanol“



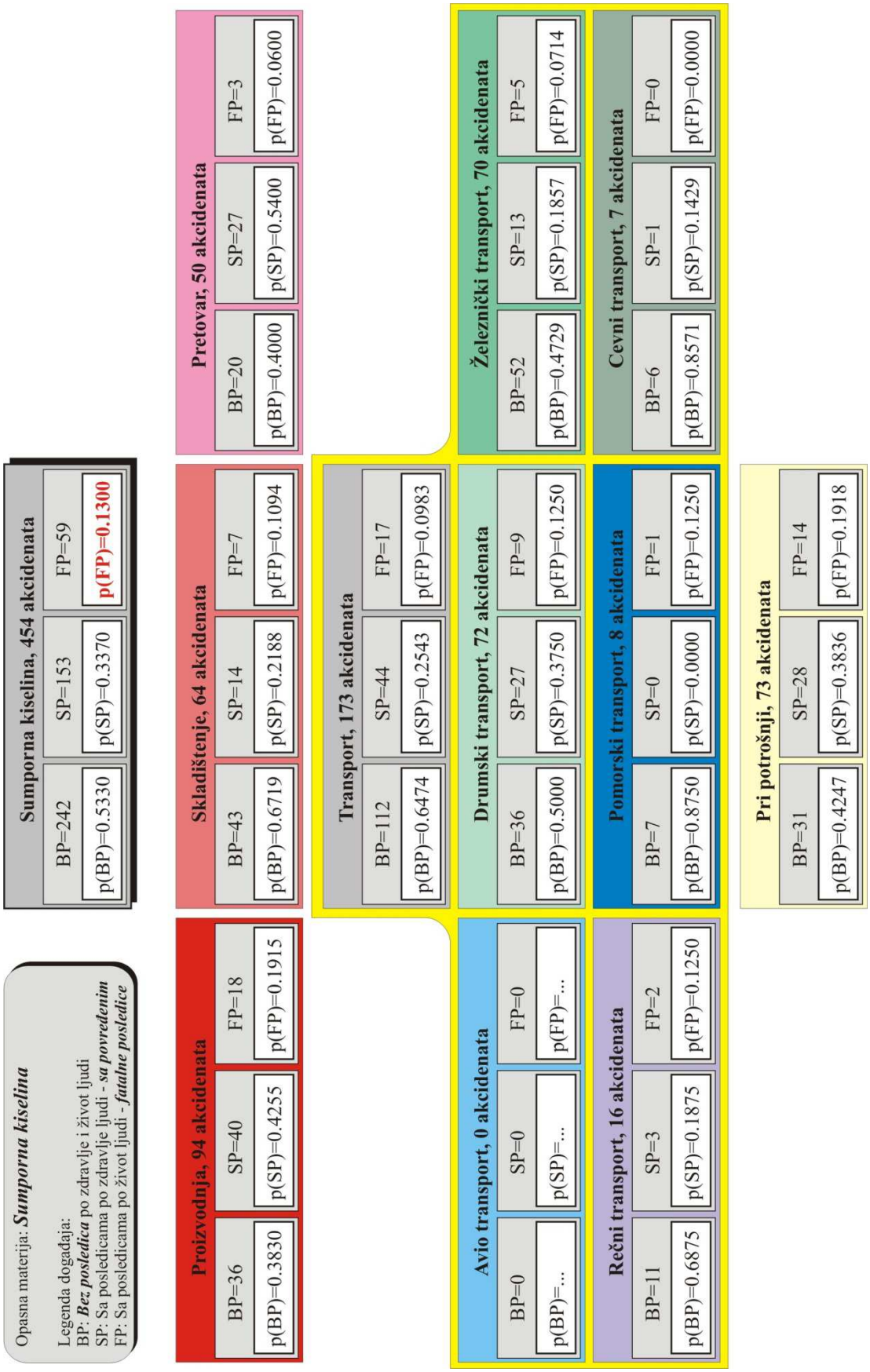
Slika 2.13 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „dizel gorivo“



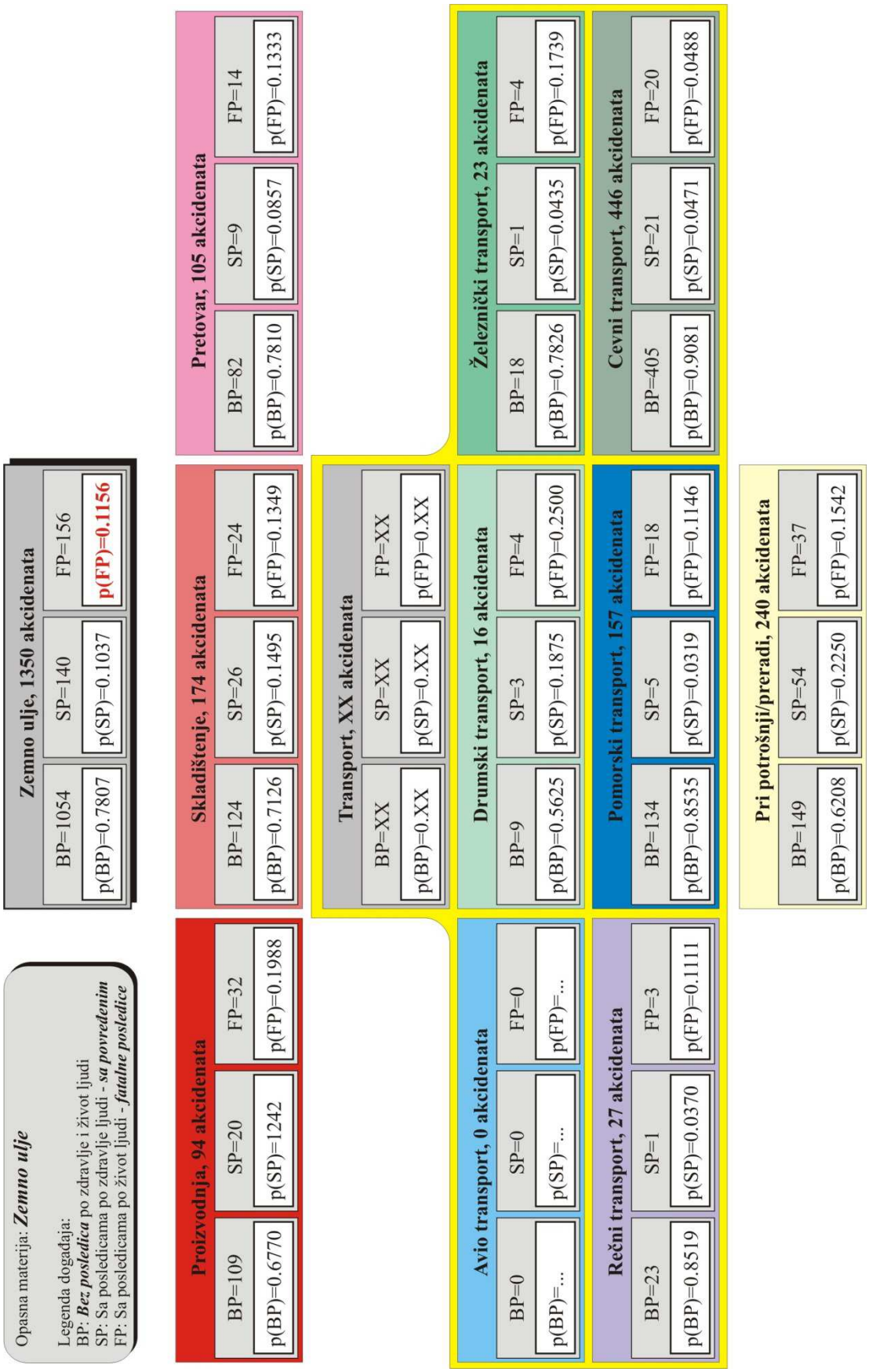
Slika 2.14 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „amonijak dehidrirani“



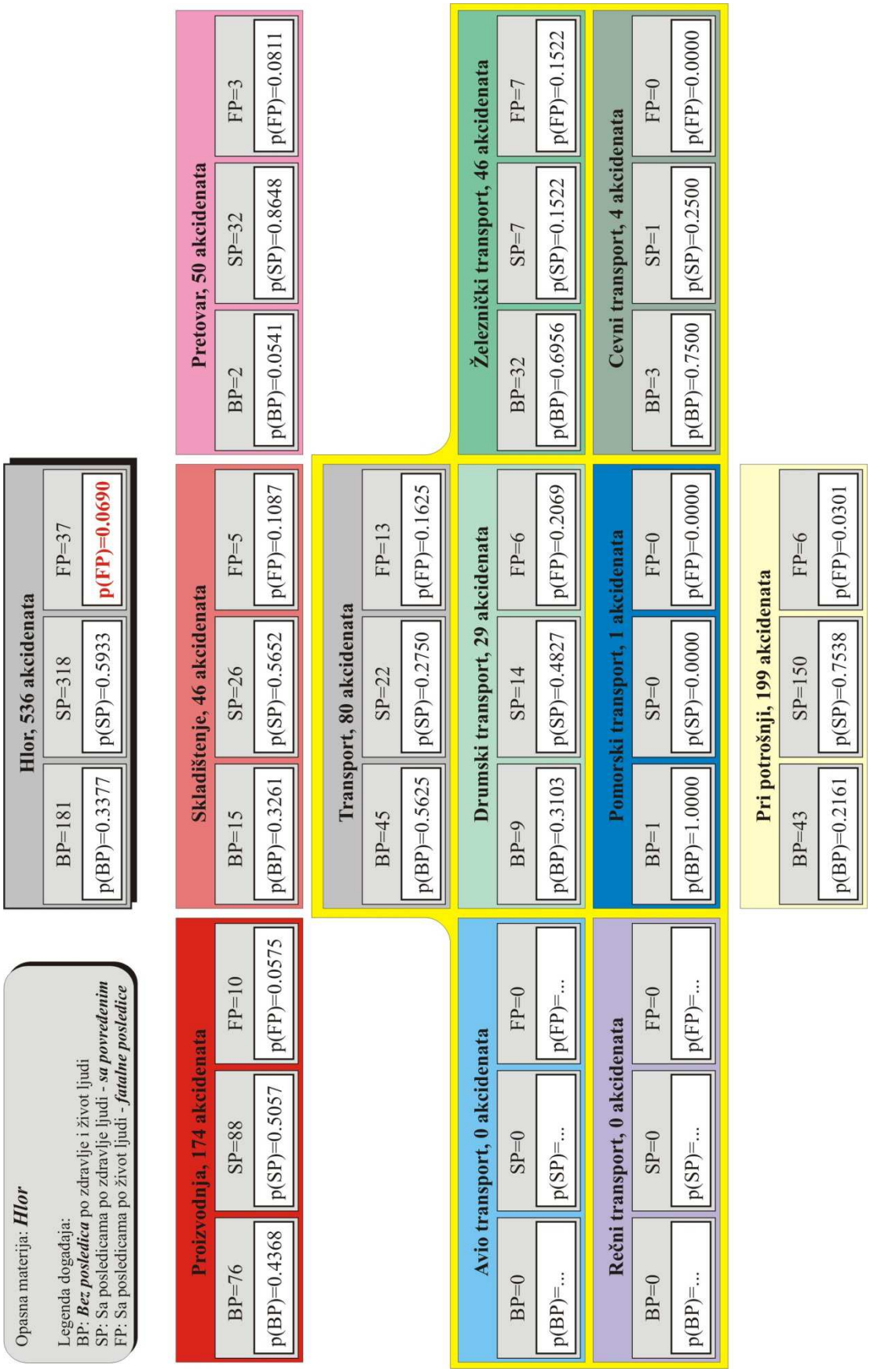
Slika 2.15 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „amonijak“



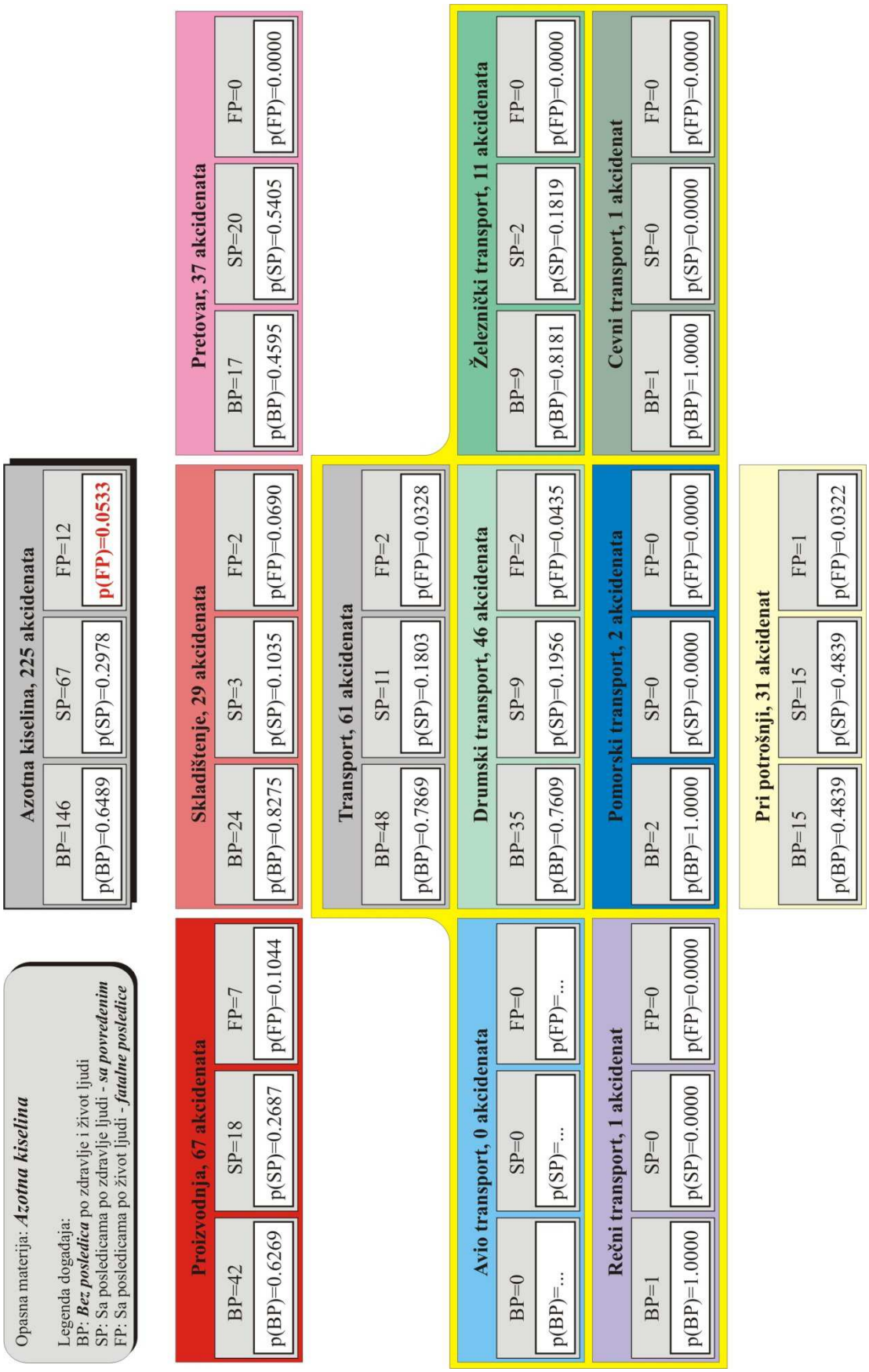
Slika 2.16 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „sumporna kiselina“



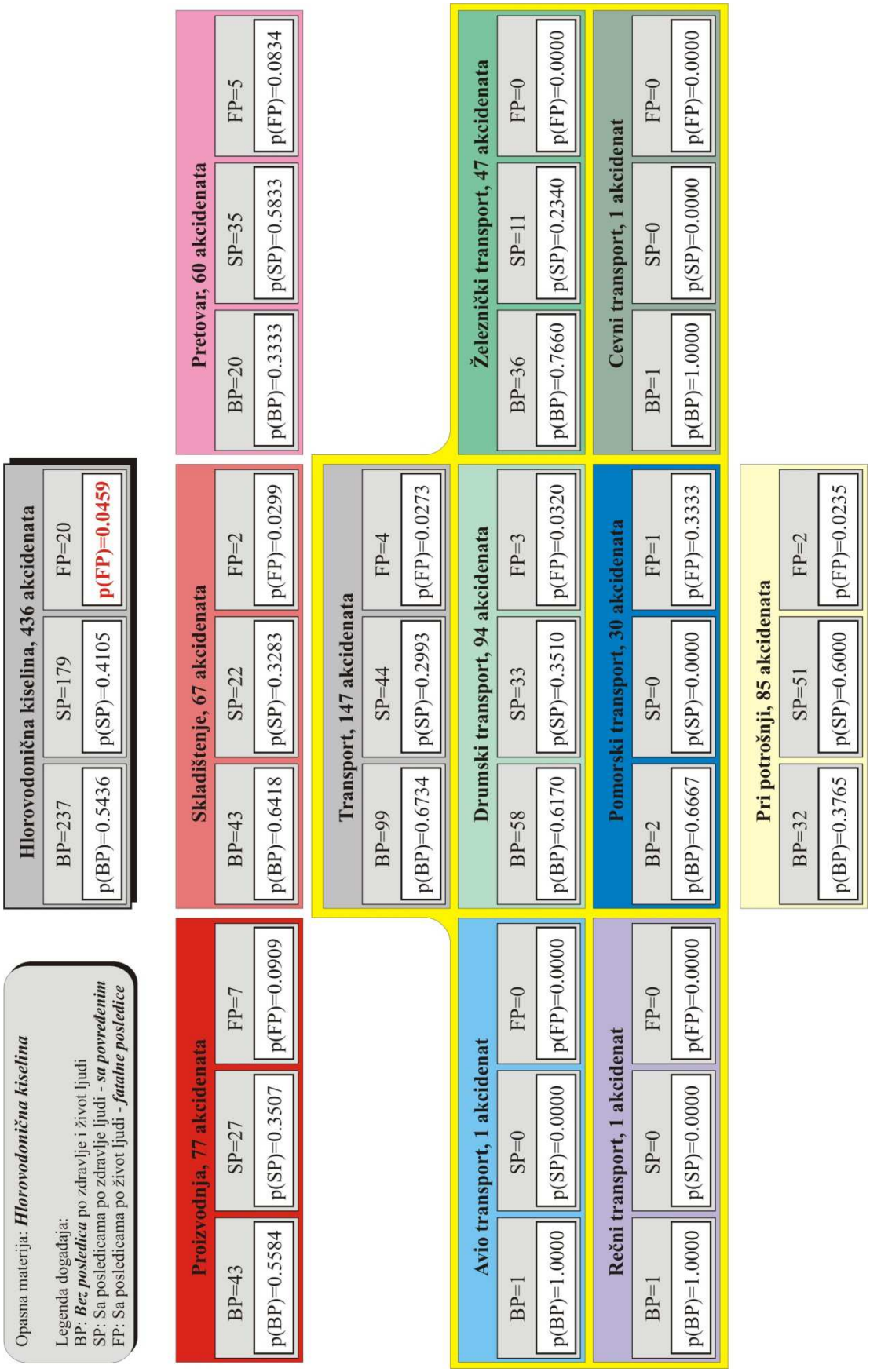
Slika 2.17 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „zemno ulje“



Slika 2.18 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „hlor“



Slika 2.19 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „azotna kiselina“



Slika 2.20 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“

2.2. Osnovne osobine izabranih opasnih materija

2.2.1. Eksplozivi

Logistički sistemi s eksplozivnim materijama imaju jedinstven problem sigurnosti koji se u velikoj meri razlikuje od problema sigurnosti s ostalim opasnim materijama. Zbog toga su eksplozivi svrstani u poseban razred opasnih materija sa sledećim podrazredima:

Podrazred 1.1. Materije i predmeti kojima je imanentna opasnost od koncentrisane eksplozije (celokupna masa trenutno reaguje) kao što su TNT, nitroglicerin, ANFO, itd.

Podrazred 1.2. Materije i predmeti kod kojih je imanentna opasnost od rasejavanja šrapnela, ali ne i opasnost od akumulirane eksplozije: bombe, granate, protivgradni projektili, itd.

Podrazred 1.3. Materije i predmeti kojima je imanentna opasnost od požara, manjih detonacija, itd., ali ne i opasnost od akumulirane eksplozije: raketno gorivo, sredstva za vatroment.

Podrazred 1.4. Materije i predmeti koji predstavljaju samo manji rizik od eksplozije u slučaju upaljenja ili inicijacije. Efekti se odnose na delove mase (ne na celokupnu masu) i bez fragmenata: patarde, manevarski metak.

Podrazred 1.5. Materije i predmeti kojima je imanentna opasnost od akumulirane energije eksplozije, ali koje su u toj meri neosetljive da je verovatnoća aktiviranja s normalnog na detonovano sagorevanje izuzetno mala.

Podrazred 1.6. Izrazito neosetljivi predmeti kojima nije imanentna opasnost od akumulirane eksplozije, mogućnost akcidentnog aktiviranja svedena je na minimum.

Veoma mali problem koji u drugim industrijama prolazi nezapaženo, u proizvodnji eksplozivnih materija može izazvati nesrećan slučaj nesagledivih razmera. Percepcija akcidenata eksplozivnih materija je značajno različita od opasnih materija preostalih razreda.

Kada se govori o uticaju eksplozivne materije na okolinu i ljude, pre svega se misli na njeno funkcionalno dejstvo (eksploziju), manje ili veoma retko se sagledava ekološki uticaj na prirodu i ljude. Do različitih oblika dejstva eksplozije na okolinu dolazi usled naglog širenja velike količine usijanih gasova pod ogromnim pritiskom (sto hiljada bara i više) zbog čijeg širenja se generiše jak udarni talas koji vrši probijanje, drobljenje, kidanje, sabijanje ili odbacivanje sredine koja okružuje eksplozivnu materiju u trenutku eksplozije. U početnom stadijumu udarni talas i produkti sagorevanja se kreću zajedno, kasnije, brzina produkata opada i kretanje produkata se odvaja od udarnog talasa. Na manjim rastojanjima od centra eksplozije osnovno dejstvo ostvaruju produkti eksplozije (kumulativno dejstvo, potiskivanje projektila kroz cev oruđa ili oružja), a na većim rastojanjima udarni talas.

Bez obzira na uslove u kojima se odvija eksplozija razlikuju se dva oblika dejstva: brizantno ili razorno dejstvo i rušeće ili fugasno dejstvo. Brizantnost je sposobnost eksplozivne materije da ostvari lokalno razorno dejstvo kao posledica snažnog udara produkata detonacije na neposredno okruženje. Brizantnost obuhvata rad eksplozije u samom njenom centru i neposrednoj okolini eksplozivnog punjenja i to je najbitnija karakteristika eksploziva koji služe za laboraciju različitih projektila, bombi i bojevih glava. Brizantno dejstvo na okolinu može se razlikovati u nekoliko načina ispoljavanja tog dejstva: brizantno dejstvo užarenih gasovitih produkata, dejstvo jakih udarnih talasa koji se generišu u sredinama velike gustine u kontaktu s eksplozivnim punjenjem, kumulativno dejstvo, fragmentacija i dejstvo obloge eksplozivnog punjenja i razaranje različitih prepreka. Rušeće dejstvo eksplozije nastaje kao posledica širenja udarnih talasa izazvanih naglim širenjem gasovitih produkata i njihovim potiskivanjem okoline.

Nefunkcionalno (neeksplozivno) dejstvo eksplozivnih materija na okolinu je dejstvo koje imaju produkti sagorevanja na prirodu i čoveka ali ne kroz funkcionalno dejstvo (eksploziju i njeno dejstvo). To dejstvo delimo na uticaj na čoveka i okolinu (zagađenja koja nastaju tokom proizvodnje, skladištenja, transporta, pretovara, itd.). Osnovno nefunkcionalno dejstvo eksploziva se može smatrati akcidentom pri nekontrolisanoj inicijaciji očekivanog funcionalnog dejstva.

Oblast eksplozivnih materija je veoma široka i obuhvata ogroman broj jedinjenja i smeša. Jedinjenja i smeše se dobijaju veoma različitim proizvodno-tehnološkim postupcima koji na različite načine zagađuje okolinu. Eksplozivne materije se sistematizuju na osnovu načina kojim se dobijaju (tehnološki postupak) na jedinjenja koja se dobijaju nitrifikacijom (nitrovanjem), kao što su nitro jedinjenja (trinitrotoluen, dinitrobenzen, trinitrofenol, dinitrotoluen i sl.), nitratni estri (nitroceluloza, nitroglicerin, pentrit itd.) i nitramini (heksogen, oktogen, nitrogvanidin itd.), inicijalni eksplozivi, ili jedinjenja koja se međusobno razlikuju ali su im tehnološki postuci za dobijanje slični (živinfulminat, olovoazid, tricinat, itd.) ili se za njihovo dobijanje koriste različite polazne sirovine i eksplozivne materije koje se dobijaju mehaničkim mešanjem dveju ili više komponenti (pirotehničke smeše i kompozitna pogonska punjenja).

Kao zagađivač pri proizvodnji eksploziva javlja se i niz drugih organskih jedinjenja (polazne sirovine na kojima se vrši nitrovanje) i neorganskih sirovina koje učestvuju u proizvodnom ciklusu. One podjednako mogu da zagađuju vodu, vazduh ili zemljište. Za adekvatno karakterisanje dozvoljenih ili kritičnih stanja zagađenosti u cilju ocene stanja zagađenosti okoline primenjuju se posebni kriterijumi. Najčešće se upotrebljava kriterijum ocene kvaliteta atmosferskog vazduha, površinskih voda i tla na osnovu maksimalno dozvoljenih koncentracija štetnih supstanci u odgovarajućim sredinama (MDK). Vrednosti ovih koncentracija određuju se na osnovu štetnog uticaja na čoveka. Pri tome se polazi od osnovnog principa da se stvore najblagotvorniji uslovi za život datog organizma (na prvom mestu je čovek) ili pojedine populacije i kao granična vrednost uzima se bilo koji pokazatelj štetnosti. MDK je ona vrednost koncentracije koja, pri svakodnenom dejstvu na organizam čoveka u toku dužeg perioda, ne izaziva neke patološke (Aranđelović i Jovanović, 2009) promene ili oboljenja, a takođe ne

narušava biološki optimum za čoveka. Sistemi (pre svega proizvodnja) koji se bave logističkim operacijama s eksplozivom ne smeju preći maksimalne vrednosti date u tabeli 2.2.

Tabela 2.2 - Maksimalne dozvoljene koncentracije nekih produkata u proizvodnji eksploziva

Supstanca	**CO_2**	**CO**	**NO**	**NO_2**	**$COCl_2$**	**PbO**	**CdO**	**CaF_2**
MDK (mg/m^3)	9000	55	20	10	0,5	0,15	0,1	2,5
Supstanca	MnO	MnO_2	CrO_4	ZnO_2	HgO	NH_3	HCN	KF
MDK (mg/m^3)	6	6	0,1	10	0,1	35	11	2,5

Eksplozivi i klasični baruti su uglavnom organska jedinjenja koja imaju svoj vek trajanja, a neka od njih (nitroceluloza) postepeno se raspadaju i degradiraju i tom prilikom se oslobađaju neki gasoviti produkti (nitrozni gasovi). Nitroglicerin zna da migrira i sublimira (iz baruta ili dinamita) i te pare dospevaju u vazduh.

U tabeli 2.1. je rezultat koji nedvosmisleno ističe neuporedivo najveći rizik od fatalnih posledica u slučaju akcidenta s opasnom materijom „eksploziv“. Navedimo akcidente koji su se realizovali u Srbiji u poslednje dve decenije:

- 23. juna 1995. godine jedanaest radnika je poginulo, a deset je povređeno u eksploziji u fabrici „Grmeč“ u Zemunu,
- 21. juna 1996. godine dvoje ljudi je poginulo u požaru u fabrici „Prva iskra“ u Bariču,
- 3. decembra 1997. godine tri radnika fabrike „Milan Blagojević“ u Lučanima poginula su na licu mesta u požaru, a sedam ih je povređeno od kojih je petoro naknadno preminulo tokom lečenja,
- 29. maja 2006. godine eksplozija u „Prvoj iskri“ u Bariču odnela je tri života, dok je troje radnika povređeno,
- 19. oktobra 2006. godine dvadeset dve osobe su povređene kada je eksplodirao vojni magacin kasarne „Sedmi jul“ u Paraćinu,
- 3. novembra 2008. godine jedna osoba podlegla je povredama a dve su povređene u eksploziji pogona firme „Ede Pro“ u Bubanj potoku,
- 4. septembra 2009. godine sedmoro radnika je poginulo, a 13 je povređeno u četiri snažne eksplozije u Barutnom odeljenju namenske industrije „Prvi partizan“ u Užicu,
- 10. maja. 2010. godine dva radnika su lakše povređena u detonaciji u namenskoj proizvodnji „Krušik“ u Valjevu,
- 27. decembra 2010. godine velika materijalna šteta pričinjena je u nizu eksplozija u fabrici „Sloboda“ u Čačku,
- 21. septembra 2011. godine radnik fabrike „Milan Blagojević“ u Lučanima povređen je u manjem požaru,
- 25. juna 2012. godine radnik je povređen u eksploziji u fabrici „Milan Blagojević“ u Lučanima, itd.

U slučaju eksploziva, referentna baza FACTS raspolaže sa svega 131 akcidentom od čega od navedenih 11 akcidenata (6 s fatalnim posledicama, 4 s povređenima i jedan s materijalnom štetom) nije naveden. Uopšte, razlog slabe evidencije akcidenata s eksplozivnim materijama je razumljiv. Ukupna proizvodnja eksploziva na svetskom nivou se takođe ne može proceniti.
Do sada najveći katastrofalni akcident se dogodio 6. decembra 1917, Halifax, Nova Škotska (slika 2.21.). Do akcidenta je došlo usled kolizije brodova; francuskog broda Mont Blanc i norveškog broda SS imo, u prilaznom lučkom kanalu Halifaxa, u 8h 45min po lokalnom vremenu, pri maloj brzini od oko 2,5 km/h. Brod Mont Blanc prevozio je oko 3,2 miliona kilograma pikrinske kiseline i TNT-a za potrebe francuske vojske u I svetskom ratu. Ekplozija se dogodila u 9h 04min. Dejstvo eksplozije je bilo u fragmentima broda, udarnog talasa i cunamija visine od 18 metara koji je nastao usled eksplozije. Procenjena temperatura eksplozije bila je oko 5 000°C. Piroklasični oblak se izdigao na visinu od oko
3 600m. Broj nastradalih nije nikada tačno utvrđen. Smatra se da je oko 1 600 ljudi poginulo odmah, a oko 400 da je podleglo povredama, 9 000 je povređeno, 1 600 domova je uništeno u serijama požara i 12 000 domova je oštećeno. Industrijski sektor grada je u potpunosti bio uništen. Katastrofa Halifax nezvanični je početak sistemskog razmatranja opasnih materija.

Slika 2.21 - Katastrofa Halifax, 6. decembar 1917, eksplozija broda i posledice

2.2.2. Kiseonik

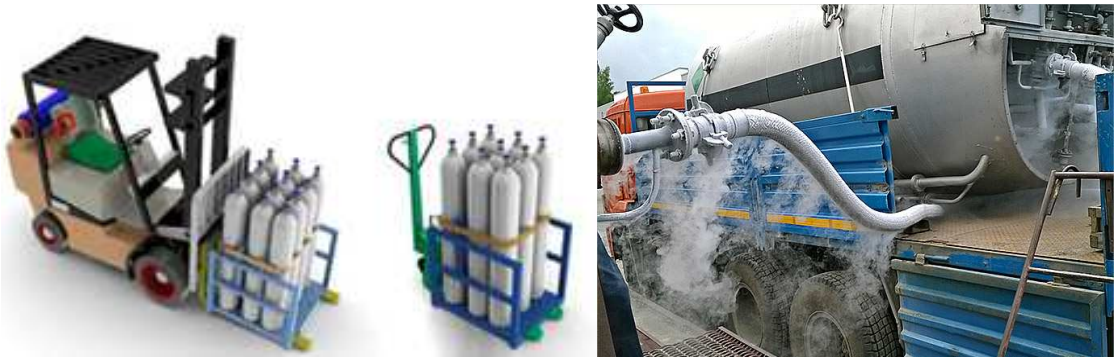
Kiseonik je hemijski elemenat, simbol „O“ (Oxygen), nemetal, atomskog broja 8. U prirodi se sreće kao dioksigen, molekul s dva atoma kiseonika O_2 ili u alotropskoj modifikaciji s tri atoma kiseonika – ozon, O_3. Visoko reaktivan elemenat, sa stabilnim izotopima (8 i 9 neutrona). Najvažniji činilac organskih molekula živih organizama (proteina, nukleinske kiseline, masti, itd.)

Tačka topljenja kiseonika je −218.79 °C, a tačka ključanja −182.96 °C. Na normalnoj temepraturi je gas bez mirisa, ukusa i boje, na 0°C i prosečnom atmosferskom pritisku ima masu od 1.429 grama po litru, tj. teži je od vazduha. U tečnom stanju postiže masu od 1.141 kg/litru. Posle vodonika i helijuma je treći hemijski element po ukupnoj zastupljenosti u našoj galaksiji Mlečni put.

Najzastupljenija industrijska metoda za dobijanje kiseonika je rektifikacija tečnog vazduha (ispod tačke ključanja). Skladištenje kiseonika u tečnom agregatnom stanju se obavlja u pojedinačnim cilindričnim bocama radnog pritiska do 300 bara ili „kaskadnom“ skladišnom konceptu, tj. baterijama cilindričnih boca sa zajedničkim ventilom i radnog pritisaka do 450 bara. Maksimalni kapacitet ovih baterija može iznositi 21 000 litara. Takođe, skladištenje kiseonika se može obavljati i u velikim pojedinačnim tankovima kapaciteta do 10 000 litara ali značajno manjim pritiscima do 11 bara (slika 2.22).

Slika 2.22 - Kaskadni sistem skladištenja kiseonika, veliki tankovi za skladištenje kiseonika, boce za kiseonik različitih zapremina

Boce za upotrebu kiseonika mogu imati različite kapacitete. Manje boce uobičajeno su na radnom pritisku od 150 bara, a veće (10 litara i više) na 200 bara. Temperaturni uslovi rada za navedene boce su uobičajeno od 5°C do 45°C. Količina kiseonika je proporcionalna proizvodu i pritisku: boca od 10 litara na pritisku 200 bara sadrži količinu od oko 2 000 litara kiseonika (slika 2.23.).



Slika 2.23 - Pretovar boca s kiseonikom u paletnim baterijama, pretakanje tečnog kiseonika u velike transportne sudove

Kiseonik ima izuzetnu primenu u metalurškim procesima (autogeno zavarivanje sa acetilenom), za postizanje visokih temperatura u procesima sagorevanja, u proizvodnji sinteznih gasova i procesima pirolize, u prehrambenoj industriji, medicini, itd.
Kiseonik pod pritiskom u tečnom agregatnom stanju (UN broj 1072) i kiseonik tečni hlađen (UN broj 1073) je opasna materija razreda opasnosti 2.2. (gas pod pritiskom, neotrovni) podrazreda 5.1. (oksidirajuća opasna materija) (slika 2.24.). Povećanje koncentracije kiseonika u atmosferi pri normalnom atmosferskom pritisku nema značajnog uticaja na zdravlje ljudi.

Slika 2.24 - Obavezne listice opasnosti za transportna sredstva kiseonika i oznaka za cilindrične boce pod pritiskom za kisonik.
Napomena: nestandardna integrisana oznaka opasnosti razreda 2 i razreda 5.

Osnovna opasnost (hazard) oznake H270 navodi da može prouzrokovati intenzivan proces sagorevanja . Za materijale (npr. pamuk ili polimeri) koji imaju malu brzinu sagorevanja od 2 do 3 cm/sec u atmosferi obogaćenoj kiseonikom preko 40% (oko 2 puta povećanje koncentracije kiseonika) mogu postići brzinu sagorevanja preko 20 cm/sec (preko 10 puta povećanje brzine sagorevanja). Atmosfera obogaćena kiseonikom smanjuje tačku paljenja, i osim organskih jedinjenja, mogu se upaliti i neki metali i metalne legure. U slučaju prisustva zapaljivih opasnih materija razreda 3 i 4 (tečne ili čvrste zapaljive opasne materije) isticanje kiseonika i formiranje atmosfere obogaćenje kiseonikom s participacijom preko 30%, obavezno dovodi do samozapaljenja i brzine sagorevanja u domenu eksplozije. Opasnost oznake H281 navodi da se mogu prouzrokovati intenzivne povrede smrzavanjem.
Instrukcije za pakovanje, pretovar i transport navode sledeće mere predostrožnosti (P od engleske reči *precautions*):

- P202: ne pristupati rukovanju ili upotrebi dok se u potpunosti ne pročitaju i prihvate (razumeju) mere predostrožnosti,
- P220: ne dozvoliti kontakt s odećom, organskim materijama i zapaljivim materijalima,
- P244: ventili i redukcioni ventili se ne smeju podmazivati uljima ili mastima,
- P271: upotrebljavati ili skladištiti samo na otvorenom ili prostorijama sa intenzivnim provetravanjem (ventilacijom),
- P282: rukovaoci moraju da nose izolacione rukavice (zbog opasnosti od smrzotina), zaštitnik za lice i oči,
- P370: u slučaju požara, zaustaviti isticanje samo ako bezbednosni uslovi to dozvoljavaju.

Ostale dopunske mere predostrožnosti navode obaveznu upotrebu kompatibilnih materijala kao što su austenični čelici, legure aluminijuma ili fluorni polimeri (teflon), upotrebu boca sa ispravnim manometrom, oprezno spajanje svih uređaja (ventili i creva se ne smeju na silu spajati zbog mogućnosti varnica), u slučaju isticanja kiseonika nije dozvoljeno prevlačiti opremu s točkovima preko ostataka istoka, itd. Protok kiseonika pri upotrebi mora biti umeren. U slučaju adijabatske kompresije izazvane velikim protokom kiseonika, može se izazvati paljenje. Takođe, prilikom pretovara cevovodima, moraju se prethodno izjednačiti pritisci. Ventili na bocama za kiseonik moraju biti projektovani tako da njihov maksimalni protok obezbeđuje pražnjenje u toku od nekoliko časova (i do 24h). U uslovima rada s kiseonikom zabranjena je upotreba bilo kakvih frikcionih elemenata i obavezna je elektrostatička zaštita.

Slika 2.25 - Akcident s fatalnim posledicama, Krit 12. 12. 2012.godine, ostatak ambulantnih kola posle eksplozije boce s kiseonikom

2.2.3. Metan

Metan, prvi ugljovodonik iz alkanskog niza, jedinjenje hemijske formule CH_4, široko rasprostranjen u prirodi kao produkt i indikator procesa karbonifikacije (geološki depoziti ugljenih ležišta) ili drugih transformacija organskih materija tzv. metnogeneze, neravnomerne raspodele u atmosferi Zemlje (prevalenca severne hemisfere od 1.85 μmol/mol naspram 1.75 μmol/mol južne hemisfere), dominantan činilac atmosfera nekih planeta Sunčevog sistema (npr. Titan). U normalnim atmosferskim uslovima se nalazi u gasovitom agregatnom stanju, energent i glavna komponenta prirodnog gasa (do 87%), toplotne moći od 39 000 kK/m^3. Temperatura topljenja metana je 90.7°K (−182.5°C) a tačka ključanja 111.66°K (−161.49°C), gustine oko 0.656 g/Lit na 25°C normalnog atmosferskog pritiska.

Metan je pronašao čuveni Italijan Allesandro Volta (1745 – 1827). Pored otkrića električnih ćelija, otkriće metana se pripisuje kao drugo najvažnije otkriće ovog čuvenog italijanskog fizičara i hemičara. Volta je tragajući za „zapaljiim vazduhom“ izolovao metan u močvari jezera Maggiore u novembru 1776. godine (granica Italije i Švajcarske) a posle uspešne kaptaže izvršio

prvo zapaljenje ugljovodoničnog goriva - metana u ograničenoj zapremini pomoću električne iskre. Time je realizovao prvi proces unutrašnjeg sagorevanja.

Metan je netoksičan gas, ali može biti zagušljiv pri redukovanju koncentracije kiseonika ispod 16%. Burno reaguje s oksidansima ili halogenima. Najznačajnija osobina metana je njegova zapaljivost, a eksplozivne smeše se formiraju od 5% do 15% koncentracije u vazduhu.

Metan se dobija uglavnom kaptažom iz ugljenih ležišta mlađeg geološkog doba, separacijom iz prirodnog gasa, procesima transformacije uglja (piroliza uglja u koksanim pećima) ili industrijskim procesima kao što je Sabatierov proces otkriven 1910. godine (u prisustvu katalizatora na temperaturi od 300 do 400°C reakcijom ugljen-dioksida i vodonika dobija se metan i voda). Ne postoje precizni podaci o ukupnoj godišnjoj proizvodnji metana u svetu.

Metan se uobičajeno konvertuje u tečno agregatno stanje (na 1/600 zapremine gasovitog metana) radi lakšeg skladištenja i transporta. Tečni metan je bezbojan, bez mirisa, netoksičan i nekorozivan. U tečnom stanju (ako se spreči njegovo isparavanje) izuzetno je bezbedan za transport i skladištenje. Metan gas, kompresovani i hlađeni metan označeni su istim UN brojem: 1971. Nekontrolisano isparavanje tečnog metana pored zapaljivosti nosi visoke rizike povreda od promrzlina i zagušenja. Ređe požar, a češće ekspolozija koja nastaje pri višim koncentracijama uobičajeno nepotpuno sagoreva i donosi sekundarnu opasnost, pojavu ugljen-monoksida i njegove toksične efekte.

Iako je metan lako zapaljiv gas i najčešći uzrok velikih rudarskih nesreća, proizvodnja metana (biogasa) iz stajskog đubriva i njegovo zagušljivo dejsto uzrok je velikog broja akcidenata sa smrtnim ishodima. Visoka cena nafte i derivata je postakla ovaj nekonvencionalni pristup proizvodnji energenata. Dominantan sezonski period akcidenata je letnji, kada je usled viših temperatura sinteza metana pri razgradnji stajskog đubriva intenzivnija. Proteklih decenija broj akcidenata od zagušenja metanom u USA je imao epidemiološki karakter, zbog čega su bile angažovane relevantne službe nadležnih ministarstava u smanjenju posledica nastalog trenda (Occupational Safety and Health Administration OSHA-USA). Zbog toga je za reprezentativni akcident izabran slučaj Bridgewater, Virginia, USA, 04. 07. 2007. godine, u kojem je sukcesivno, u nameri da pomognu, jedno za drugim stradalo petoro ljudi, poljoprivrednika koji su proizvodili metan.

Slika 2.26 - Kolektorske jame za proizvodnju biogasa – metana i kolektori metana

Drugi reprezentativni akcident je realizovan 10. juna 2010. u fabrici farmaceutskih proizvoda, Brindizi, Italija (slika 2.27.). Akcident se dogodio na rezervoaru za prikupljanje otpadnih voda i upotrebljenih mikroorganizama, što suštinski nema nikakve veze s opasnim materijama.
Poslednje učešće u procesima proizvodnje predmetnog rezervoara zapremine 320 m^3 bilo je 2000. godine, 10 godina pre akcidenta! Od tada, rezervoar je isključen iz proizvodnih procesa, a zaostali otpad biološkog porekla se smatrao bezopasnim. Sadržaj rezervoara nije analiziran pre procesa demontaže, smatralo se da je prazan. Prilikom demontaže poklopca rezervoara, pri sečenju motornom testerom, došlo je do eksplozije. Radnik koji je bio na krovu rezervoara preminuo je, trojica radnika su zadobili ozbiljne povrede opekotina, a poklopac rezervoara je odbačen preko 20 metara. Pri analizi akcidenta ustanovljeno je da se prilikom 10-ogodišnjeg razlaganja tečne i čvrste faze organskog otpada u anaerobnoj atmosferi formirao metan, a da je radnik na krovu, pri sečenju metalne konstrukcije inicirao varnicu koja je zapalila formirani metan.

Slika 2.27 - Akcident Brindizi, eksplozija neupotrebljavanog rezervoara pri demontaži, izgled rezervoara i poklopac rezervoara odbačen posle eksplozije

2.2.4. Poliuretan, pene smole

Prvi poliuretan je napravljen 1937. godine u fabrici boja i lakova „IG Farben“ u Leverkuzenu, pod rukovodstvom nemačkog hemičara OTO Bajera. Poliuretani su razvijeni za potrebe vojne industrije kao premazi aviona. Već tada su poliuretani imali neke prednosti nad postojećim plastikama i poliesterima. Po završetku II svetskog rata, poliuretani ostaju vojni materijal a komercijalno dostupni postaju tek 1952. godine.
Poliuretani ili poliuretanski materijali su polimeri organskih jedinica spojeni uretanskom vezom. Proizvode se egzotermnom reakcijom između alkohola s dve ili više hidroksilne grupe po molekulu (OH grupe, dioli, trioli, itd.) i izocijanata s jednom ili više uretanskom rektivnom grupom po molekulu (NCO grupom, diizocijanati, poliizocijanati, itd.).
U proizvodnji, poliuretani se suštinski razlikuju od ostalih plastičnih masa (polieten, polipropen, itd.) koji se oblikuju u granulama, praškovima i filmovima (kao poluproizvod), dok se poliuretani zbog načina proizvodnje distribuiraju kao gotov proizvod.

Poliuretan se smatra hemijski inertnim, u vodi nerastvorljiv. Sastava hidrokarbonata (od 30 do 60%), butana (od 10 do 30%), ksilena (od 1 do 5%), etil/metil ketoksima (do 1%), benzena i derivata alkila (do 0,5%). U zavisnosti od vrste, specifične gustine poliuretana se kreću od 0,8 do 1,5 kg/l, uobičajenog. Tačka ključanja je ispod 0°C, a tačka samozapaljenja oko 230°C (za zaštitne premaze koji se nanose aerosolom), razred 2, UN broj 1950, a za poliuretanske boje tačka ključanja može biti maksimalno do 138°C, a tačka samozapaljenja oko 500°C, razred 3, UN broja 1833, klasa pakovanja III. Osnovne mere opreza (precautions) su:

- P210: čuvati od toplote i otvorenog plamena, zabranjeno pušenje,
- P211: zabranjeno raspršivanje u prisustvu otvorenog plamena,
- P251: posuda pod pritiskom, ne bušiti i spaljivati i kada je prazna,
- P280: rukovaoci moraju da nose zaštitne rukavice, zaštitnik za lice i oči,
- P410: čuvati od sunčevog svetla, ne izlagati temperaturi višoj od 50°C.

Postoji niz negativnih efekata koje mogu izazvati ove opasne materije. Granična vrednost isparenja poliuretana je 200 ppm. Osnovni simptomi izlaganja nižim vrednostima (manjim od 200 ppm) su dermatitis, ekcemi, iritacija očiju i respiratornog trakta. Izlaganja preko 200 ppm mogu izazvati vrtoglavicu, glavobolju, mučninu, nestabilnost, anemiju, neke oblike narkoze a zabeležni su i slučajevi tranzitornih oduzetosti ekstremiteta – šaka ili stopala. Trajno izlaganje visokim koncentracijama u dužem vremenskom periodu može biti letalno i odnosi se na koncentracije od 5 000 ppm u periodu preko 6h. Letalna doza (oralna) je 50 mg/kg. Metil/etil ketoksim (koji se nalazi u miksturi aerosola poliuretana) u skladu s direktivama evropske komisije nosi oznaku H351, što označava sumnju da ima potencijal karcinomogeneze.

Poliuretanske pene u spreju su jedan od najefikasnijih sistema termoizolacije. Ove pene formiraju monolitne površine, pena se instalira kao tečnost koja višestruko uvećava svoju zapreminu i pri tome zaptiva sve površine, uključujuću i one s nepravilnim oblikom. Upotreba poliuretanskih pena je dostupna i amaterima. Međutim, poliuretanska pena nije dobar termoizolacioni materijal. Pena gori brzo, proizvodi intenzivnu toplotu, gust i iritirajući dim. Plasman poliuretanske pene se ne sme izvoditi u prisustvu otvorenog plamena zbog mogućnosti zapaljenja i pojave specifičnih i teških povreda od opekotina (slika 2.28) (Keskin i sar., 2008).

Iako je opasna materija, poliuretan ima izuzetnu efikasnost upravo u lečenju opekotina/smrzotina. Komparativne studije su u potpunosti pokazale njegovu superiornost u odnosu na standardni hidrogel prilikom primene „odela“ za transplantaciju kože. U svim parametrima transplantacije poliuretanski preliv je bio bolji, sem u jednom parametru – bol u procesu izlečenja!

Reprezentativni akcident se dogodio 8. decembra 2000. godine, Haguenau, Francuska, pri požaru u fabrici adheziva (slika 2.29.). Požar je izazvala varnica, inicijalno zapaljiva supstanca su bili toluen i ksilen. Požar se prošitrio na velike količine skladištenih gotovih proizvoda filtera i lepaka od poliuretana. Izuzetno gust dim se dugo zadržavao i povećavao koncentraciju zbog nepovoljnih atmosferskih uslova. Toplotni fluks bio je izuzetno jak i prenosio je požar na ostala postrojenja. Za vreme požara bilo je zabranjeno kretanje gradom, a stanovnici su bili pred evakuacijom. Srećom, nije bilo fatalnih ishoda. Bilo je više povređenih radnika i povređenih

članova spasilačkih ekipa od gustog dima sa sadržajem od 4 ppm hlorovodonične kiseline i nepredviđenog prostiranja toplotnog fluksa pri gorenju poliuretana (slika 2.29).

Slika 2.28 - Specifične opekotine od poliuretana (sprej)

Slika 2.29 - Akcident Haguenau, 8. 12. 2000, urušena krovna konstrukcija od toplotnog fluksa poliuretana

Poliuretani predstavljaju široku lepezu proizvoda od čega je raspodela na svetskom nivou sledeća: 25% ima primenu u građevinskoj industriji (konstrukcije i izolacije), 11% u industriji nameštaja, 35% za proizvodnju fleksibilnih pena za madrace, jastuke, sedišta u automobilskoj industriji, 18% za proizvodnju vlakana za proizvodnju odeće i obuće, 6% u proizvodnji elastomera, 6% za proizvodnju specijalnih lepila i zaptivača, itd. Ukupna godišnja svetska proizvodnja je ocenjena na oko 11,7 miliona tona, od toga u Evropi oko 4,4 milona tona, pa procena rizika od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{poliuretan} = \frac{n_{facts(poliuretan)}}{35 \cdot P} = \frac{61}{35 \cdot 11700000} = 0.1489 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.5. Pogonski benzin

Prvi pouzdani motor s unutrašnjim sagorevanjem je projektovao 1862. godine inžinjer Nikolas Otto (10. jun 1832 – 26. januar 1891). Oto je značajno unapredio prvi motor sunutrašnjim sagorevanjem koji je projektovao Jean Joseph Étienne Lenoir (12. januar 1822 – 4. avgust 1900). Oto je ustanovio značaj povećanja stepena kompresije i povećao pouzdanost rada motora (Lenierov motor je mogao da radi samo nekoliko minuta). Tadašnji benzini su bili relativno nestabilni, s temperaturom ključanja od oko 85°C, koji su pri povećanju pritiska u klipu nekontrolisano samodetonirali i remetili taktni rad SUS motora, što je dovodilo do brzog propadanja motora. Oto je ustanovio novi sistem ubrizgavanja, a razvoj dizni omogućio je primenu goriva sa manje isparljivih benzina. Ukupno, razvoj SUS motora je pratio razvoj

antidetonativne sposobnosti benzina koja se izražava oktanskim brojem. Iz toga razloga a za razliku od mnogih drugih, automobilski benzin je opasna materija kojoj je rizik logističkih operacija smanjivan zbog promene osobina. Danas je postignut standard male brzine sagorevanja (Zhao i sar, 2003) pogonskog benzina od 45 do 50 cm/s za 3-5 izooktan, koji je referentni alkan u određivanju antidetonativne sposobnosti benzina.

Automobilski benzin je jedna od najzastupljenijih opasnih materija u proizvodnji, transportu skladištenju, pretovaru, distribuciji i upotrebi. Nastaje frakcionom destilacijom zemnog ulja u temperaturnom intervalu od 50°C (najlakši benzini, petrol etar) do 220°C (teški benzini za rastvaranje guma). Posle osnovnog frakcionisanja, svaki benzin odlikuje mali oktanski broj (45 do 50) pa je neophodan nastavak njegove prerade u procesima hidrokatalitičkog krekovanja, izomerizacije, reformacije, itd. Automobilski benzin je smeša tečnih ugljovodonika tako da ne postoji jedinstvena hemijska formula.

Automobilski benzin se svrstava u tečne opasne materije razreda 3, UN broj 1203. Današnji benzini zasnovani na visokom oktanskom broju temperature ključanja od oko 120°C. Temperatura samozapaljenja od 246°C do 280°C. Toplotna moć benzina je 42 800 kJ/kg a specifične gustina 0.71–0.77 kg/L (zapreminska) ili prosečno 719.7 kg/m^3. Iako današnji benzini imaju relativno malu brzinu sagorevanja, pri sagorevanju razvijaju izuzetno visoku temperaturu. Na normalnom atmosferskom pritisku i temperaturi, temperatura sagorevanja je oko 2 140°C, što je više od od energenata koji imaju veću toplotnu moć, na primer propana i butana s temepraturama gorenja respektivno 1 980°C i 1 970°C. Razvoj visoke temperature gorenja je razlog zbog kojeg pri akcidentima dolazi do intenzivnog krekovanja tečnih ugljovodonika iz sastava benzina u gasne, koji imaju izražena eksplozivna svojstva.

Zbog obima proizvodnje i potreba tržišta, automobilski benzin je jedna od najzastupljenijih opasnih materija u kopnenom transportu, a saglasno logističkim konceptima, i u pretovaru i skladištenju. Treba napomenuti da dugoročno skladištenje značajno degradira kvalitet benzina zbog izdvajanja njegovih lakših ugljovodoničnih komponenti.

Za reprezentativni akcident izabrana je eksplozija cisterne drumskog vozila za prevoz benzina u gradu Okobie, Nigerija od 12. jula 2012. godine. U akcidentu je poginula 121 osoba, a povređeno ih je75 (kolaž slika 2.30).

Procene su da Sjedinjene Američke Države participiraju sa oko 44% svetske proizvodnje ili 476 GL, što prevedeno u kilograme na svetskom nivou iznosi oko 777,82 Gkg, ili 777,82 miliona tona proizvoda. Procena rizika od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{Pogonskibenzin} = \frac{n_{facts(Pogonskibenzin)}}{35 \cdot P} = \frac{844}{35 \cdot 777820000} = 0.03100\,10^{-6}\,\frac{akcident}{tona}$$

Slika 2.30 - Akcident Okobie – Nigerija, 12. jul 2012 godine, opasna materija: benzin, drumski prevoz

2.2.6. Fluorovodonična kiselina

Fluorovodonična kiselina je vodeni rastvor hidrogen-fluorida, hemijske oznake HF. Molarna masa hidrogen-fluorida je 20,01 g/mol, gustina 1,15 g/cm³ (gas na 25°C, lakši od vazduha), 0,990 kg/l na temperaturi ključanja od +19,5 °C (lakši od vode) pritiska pare od 783 mmHg po ključanju. Temperatura topljenja je –83.55°C. Konstanta kiselinske disocijacije (kvantitativna mera snage kiseline u rastvoru) za HF je 3,17.

Veliki privredni značaj ove hemikalije se nalazi u industriji nafte i derivata, proizvodnji poluprovodnika, plastike, farmaceutskoj industriji (Prosac), sintetičkog kriolita (Na_3AlF_6) koji ima značajnu primenu u proizvodnji aluminijuma iz glinice, za proizvodnju sintetičkog fluoropolimera – politetrafluoroetilena, tj. teflona, za proizvodnju obogaćenog uranijuma (uranium fluorid UF_4), za potrebe industrije stakla i keramike, čišćenje aluminijuma, itd.

Hidrogen-fluorid rastvara staklo i beton, kožu i gumu. Deklarisan je kao

nezapaljiv (nema temepraturu samozapaljenja), međutim, rastvor od 65% i veći u reakcijama sa metalima može osloboditi vodonik. U klasifikaciji opasnih materija pripada razredu VIII, UN broj 1052 (gas HF, UN broj 1790 za vodeni rastvor do 60% HF i UN broj 1796 za vodeni rastvor preko 60% HF. Maksimum težine punjenja u sudove je ekvivalentan težini 85% zapremine vode. Osnovna sirovina za proizvodnju hidrogen-fluorida je mineral kalcijum-fluorid (CaF_2). Glavna nalazišta ovog minerala se nalaze u Kini, Meksiku, Južnoafričkoj Republici i Rusiji. Godišnje ekstrakcija osnovnog minerala na svetskom nivou prelazi količinu od 5.000.000,00 tona. Iz ove količine minerala proizvede se oko 2.000.000,00 tona hidrogen-

fluorida godišnje, od toga u Evropi oko 240.000,00 tona. Proizvodni postupak se zasniva na reakciji osnovnog minerala s pregrejanom sumpornom kiselinom.
Poslednji veliki akcident s fluorovodoničnom kiselinom se realizovao 27. 09. 2012. godine, lokacija hemijska fabrika „Gumi National Industrial Complex“ (korejnska silikonska dolina), Južna Koreja, 200 kilometara južno od Seula (slika 2.31.).

Sklika 2.31 - Snimak eksplozije tanka i pražnjenja gasa fluorovodonika u atmosferu, Gumi, Južna Koreja, 27. septembar 2012. godine.

Oko 8 tona fluorovodonika u gasnom stanju isparilo je u atmosferu posle eksplozije cisterne, pri tome je poginulo pet radnika, a 18 je hospitalizovano. Međutim, naknadne posledice od akcidenta su nastale pod dejstvom vlage u vazduhu kojom se formirala fluorovodonična kiselina. Oko 3 000 ljudi je zatražilo medicinsku pomoć zbog iritacije očiju, grla i problema s disanjem, a oko 300 ljudi je evakuisano iz domova. Koncentracija od 1.3 mg/l koja je ustanovljena u industrijskom kanalu, ulivanjem u reku Nankdong izazvala je ekološku katastrofu i pomor ribe. Takođe, hitna veterinarska pomoć je morala biti ukazana u oko 2 800 slučajeva na 30 okolnih farmi. U narednim danima oko 80 preduzeća je moralo da obustavi rad. Koncentracija fluorovodonične kiseline u vazduhu je uništila rod i zasade na površini oko 500 hektara (slika 2.32.). Posle ovog akcidenta, „Gumi“ je od strane Vlade Južne Koreje bila proglašena za oblast pogođenu katastrofom.

Slika 2.32 - Uništeni zasadi paprike i pirinčana polja posle akcidenta, fluorovodonik, Guma, Južna Koreja, 2012.

Patogenezna oštećenja tkiva koja nastaju pod dejstvom fluorovodonične kiseline značajno se razlikuju od dejstava ekvimolarnih rastvora sumporne, hlorovodonične ili azotne kiseline.

Vodeni rastvor fluorovodonične kiseline daje slabu kiselinu zbog visoke elektronegativnosti jona fluorida i zbog toga oni prouzrokuju neuporedivo manji obim opekotina i degeneracije kože, u komparaciji s ostalim kiselinama. Uopšte, dermalne opekotine u velikoj meri zavise od koncentracije rastovora.

Vodeni rastvori fluorovodonične kiseline do 20% ne mogu prouzrokovati bol ili eritrem do 24 sata. Međutim, klinička slika posle 24h se naglo pogoršava, jer se simptomi dejstva slabog rastvora fluorovodonične kiseline javljaju odloženo (slika 2.33.).

Slika 2.33 - Klinička prezentacija opeklina nastala pod dejstvom slabog rastvora (do20%) fluorovodonične kiseline, promena kliničke slike pri oštećenju prstiju u toku 24h

Tipični slučajevi dejstva slabog rastvora fluorovodonične kiseline odnose se na servisere (perače/čistače) stakla i keramike koji su obavljali radne procese bez adekvatne zaštitne opreme, rukavica pre svega. Dermalna oštećenja prstiju i šake se naglo pogoršavaju u toku 24h (Burd, 2004).

Kontaminacija kože rastvorom fluorovodonične kiseline od 20 do 50% takođe ne daje karakteristične znakove poput sumporne, hlorovodonične ili azotne kiseline. U slučaju „srednjeg“ rastvora standardna klinička slika se javlja nakon 8h. Takođe, simptomi se razvijaju u toku vremena, a pacijentu se pri prijemu ne može pružiti hitna medicinska procena, što uvek uzrokuje lošiji klinički ishod.

U slučaju kontaminacije visokim koncentracijama fluorovodoničnom kiselinom (preko 50%), javlja se standardna klinička slika, vrši se hitna medicinska procena i sprovode neophodni postupci.

Razlog odloženog dejstva fluorovodonične kiseline se nalazi u visokoj lipofilnosti jona fluorida koji prodiru duboko u tkivo, akumuliraju se u ćelijama i dovode do bolne likvefaktivne nekroze s progresivnom evolucijom. Do pojave standardne kliničke slike na koži, joni fluorovodonične kiseline intenzivno vezuju jone kalijuma, kalcijuma i magnezijuma, mogu izazivati aritmije, zastoj srca i smrt. Kontaminacija od svega 2,5% površine kože (Sheridan i sar, 1995) koncetrovanom fluorovodoničnom kiselinom može biti fatalna. Po toksikološkim procenama, dovoljna je površinska kontaminacija od 160 cm^2 kože za fatalan ishod. Proces prodora jona fluora u tkivo se ne može zaustaviti površinskom dekontaminacijom. Neutralizacija se može izvršiti davanjem rastvora soli na bazi kalijuma, kalcijuma i magnezijuma (Dinis-Oliveira i sar., 2015). Jedan od pozitivnih ishoda je klinički opisan i sadrži radikalne metode infuzije

(intravenska i intraarterijska) s visokim koncentracijama magnezijuma, kalcijuma u preparatima (slika 2.34). Najnovijia istraživanja upućuju i na pojave neuropatije (Xinganga i sar., 2015). Udisanje gasa HF može izazvati iritaciju disajnih puteva a formiranje rastvora HF i vlage u plućima može izazvati edem. Takođe, neizbežna su oštećenja jednjaka i želuca.

Slika 2.34 - Klinička prezentacija opeklina nastala pod dejstvom visokokoncentrovanog rastvora (70%) fluorovodonične kiseline, hitan intravenozni i intraarterijalan (brahijalna arterija) infuzioni tretman s preparatima kalcijuma i magnezijuma, primer pozitivnog kliničkog ishoda: sprečena nekroza tkiva i u potpunosti očuvana motorika ruku pacijenta (Dünser i Rieder, 2007).

Za ocenjenu proizvodnju od oko 3.000.000 tona (na osnovu procene proizvodnje osnovne sirovine i učešća sumporne kiseline) procena rizika od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{HF} = \frac{n_{facts(HF)}}{35 \cdot P_{HF}} = \frac{101}{35 \cdot 1{,}000{,}000} = 0.9619 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.7. Metanol

Metanol, hemijsko jedinjenje formule CH_3OH najjednostavniji je alkohol, nestabilna, bezbojna zapaljiva tečnost, toplotne moći od 19 900 kJ/kg, specifične gustine 742 kg/m^3 pri temperaturi od 20°C, karakterističnog mirisa, nepodoban za ljudsku konzumaciju zato što je veoma otrovan. Poznat i pod nazivima: metil hidrat, drveni alkohol ili duh drveta. Može da se koristi kao rastvarač, antifriz ili gorivo. Metanol je opasna materija razreda 3+6.1, klasa pakovanja II, UN broj 1230, tačke topljenja –97,6°C, tačke ključanja 64,7°C, potpuno rastvorljiv u vodi. Temperatura samozapaljenja 464°C, raspon zapaljive smeše s vazduhom od 6 do 36%, prilikom operacija pretovara sva oprema mora biti uzemljena, obezbeđena ventilacija. Posude za skladištenje ili transport je zabranjeno bušiti ili seći (zbog varnica), a upotrebljene posude se moraju upotpunosti očistiti pre naredne upotrebe.

Metanol iritira kožu i oči. Toksičnost se može izazvati površinskom kontaminacijom kože, respiratornim putem ili oralno. Postoje dva hemijska mehanizma toksičnosti. Prvo, metanol je

toksičan kao depresant centralnog nervog sistema, s identičnim mehanizmom kao i etil alkohol. Drugo, u procesu toksikacije, metabolišе u mravlju kiselinu, zatim formaldehida preko dehidrogenaze enzima alkohola u jetri. Letalna doza je: dermalno 15 800 mg/kg, oralno 5 628 mg/kg i inhalaciono 82,3 mg/l u periodu od 4h. Simptomi trovanja metanolom su glavobolja, vrtoglavica, nedostatak koordinacije. Simptomi su manje izraženi nego kod trovanja etanolom. Po prolasku prvih simptoma, nakon 10 do 30 h dolazi do pojave drugog skupa simptoma: zamućenje ili potpuni gubitak vida, acidoza, putaminalna krvarenja (hematomi u moždanoj masi), gubitka svesti, kome i smrti.

Proizvodnja metanola se zasniva na katalitičkim reakcijama ugljen-monoksida, ugljen-dioksida i vodonika. Metanol se uglavnom tretira kao poluproizvod i koristi se dalje za proizvodnju formaldehida, i dalje za proizvodnju drugih vrsta plastike, boja, eksploziva vlakana, itd.

Na autoputu Baotou – Maoming u kineskoj provinciji Šanksi 30. avgusta 2012, oko 2h (noć), došlo je do naletanja autobusa na poluprikolicu za transport opasne materije metanol (2.35.). Zbog naleta autobusa na cisternu, došlo je do istakanja i zapaljenja metanola. U autobusu se pored dva vozača nalazilo još 37 putnika. Ukupan bilans je bio 36 fatalno nastradalih, a preostalih troje je s teškim povredama prevezeno u bolnicu.

Slika 2.35 - Akcident u transportu metanola, 30. avgust 2012, provincija Šanksi, Kina, 36 poginulih, 3 povređena

Obim godišnje proizvodnje metanola na svetskom nivou u 2013. godini je procenjen na oko 65.000.000,00 tona, od toga je samo u Kini oko 35.000.000,00 tona (Asia Methanol Market Services, 2014), na Bliskom istoku oko 14.000.000,00 tona, u Južnoj Americi oko 10.000.000,00 tona, u jugoistočnoj Aziji oko 4.800.000,00 tona, u Evropi oko 2.600.000.00 tona i USA sa 2.600. 000,00 tona. Za evidentiranih 198 akcidenata u
35-ogodišnjem periodu proračunat je rizik od akcidenta po proizvedenoj toni koji iznosi:

$$P(A)_{CH_3OH} = \frac{n_{facts(CH_3OH)}}{35 \cdot P_{CH_3OH}} = \frac{198}{35 \cdot 65{,}000{,}000} = 0.0807 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.8. Tečni naftni gas

TNG je bezbojan, veoma zapaljiv i eksplozivan gas, karakterističnog mirisa, smeša rafinerijskih gasova propana (gustine 1,882 kg/m^3, tačke ključanja –42,09°C, zapaljivosti smeše s vazduhom od 2,1 ÷ 9,5%, temperature paljenja 470°C, temperatura gorenja je oko 1900°C) i butana (gustine 2,489 kg/m^3, tačke ključanja–0,5°C, zapaljivosti smeše s vazduhom od 1,8 ÷ 8,4%, temperature paljenja 500°C). TNG je u proseku 1,9 puta teži od vazduha, tj. 2,3275 kg/m^3. Zbog toga se zadržava na nižim mestima iz kojih može da se istisne kiseonik. Pored zapaljivosti i eksplozivnosti može da ima i zagušljivo dejstvo, ali nije otrovan. Ujedno, propan i butan odlikuje izuzetno visoka gornja toplotna moć od 50 370, odnosno 49 570 kJ/kg, respektivno.

Akcident San Janico (Arturson, 1987) ili San huan Ixuapeltec, 19. novembar 1984, najveći je akcident s katastrofalnim posledicama opasne materije TNG. Bilans je oko 520 fatalno nastradalih (tačan bilans nikada nije utvrđen), 3 500 povređenih, od toga 625 s izuzetno ozbiljnim opeklinama, angažovano je oko 1 000 doktora, 1 300 medicinskih sestara, za transport je angažovano 363 ambulantnih kola, 5 helikoptera. Oko 7 000 ljudi evakuisano je iz područja katastrofe, angažovano oko 250 vatrogasaca. Ova katastrofa predstavlja eklatantan primer DOMINO-efekta (Darbra i sar., 2010), tj. „***kaskade događaja u kojima je posledice prostorno i vremenski povećavaju, što dovodi do posledice velikog akcidenta***“.

Postrojenje za skladištenje idistribuciju TNG-a San Juan Ixhuatepec Meksičke naftne industrije PEMEX „Petroleos Mexicana“, raspolagalo je sa:

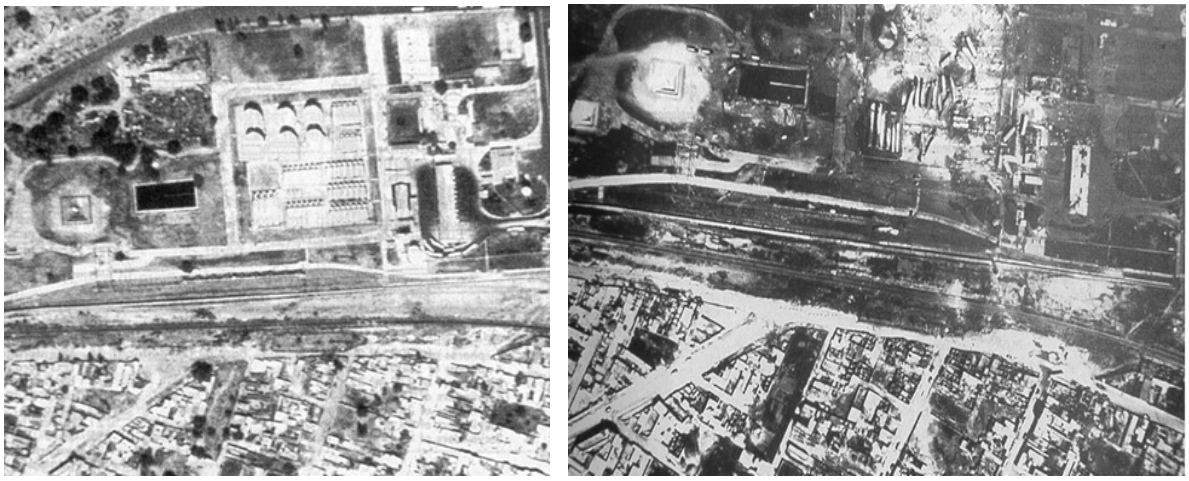
a) 2 sferna rezervoara ukupnog kapaciteta 4 800 m^3 TNG (4 320 m^3 TNG pri akcidentu),
b) 4 sferna rezervoara ukupnog kapaciteta 6 000 m^3 (~3000 m^3 TNG pri akcidentu),
c) 58 cilindričnih rezervoara različitih zapremina ukupnog kapaciteta 4 059 m^3 (~3563 m^3 TNG pri akcidentu).

Ova katastrofa je nastala kao posledica rupture cevi za transfer TNG-a unutar postrojenja, po podacima oko 5.45h. Visoka koncentracija gasa u prizemnom vazduhu (TNG je oko 1,9 puta teži od vazduha) nepovoljnim vetrom nošena je ka zapadnom delu postrojenja gde se nalazila baklja za otpadni gas. Sistem za detekciju nije alarmirao porast koncentracije gasa. Baklja za otpadni gas je izvršila zapaljenje prizemne smeše propan/butan gasa i vazduha. Ovaj inicijalni požar doveo je do BLEVE-efekta (Casal i Sala, 2006; Abassi i Abassi, 2007) (boiling liquid expanding vapor explosion) zbog prevođenja opasnih materija primenom visokog pritiska iz gasne u tečnu fazu.

Brzi rast temperature u najbližim tankovima (između 600°C do 700°C, iznad tačke zapaljenja) izazvao je ekstremne poraste pritisaka (preko 25 bara), njihove rupture i istiskivanje zagrejanog gasa iznad tačke zapaljenja u okruženju sa dodatnim izvorom paljenja.

U serijama eksplozija propan/butan gasa je uništeno svih 6 sfernih rezervoara i 48 cilindričnih rezervoara sa sadržinom od oko ~10883 m^3 gasa. Eksplozije su trajale do 10.00h narednog dana. Na narednim slikama (slike 2.36. do 2.40.) je prikazan avionski snimak postrojenja pre i posle akcidenta, trajanje akcidenta tokom dana i noći, evakuacija povređenih i njihovo stanje posle

akcidenta (slike 2.36. do 2.40.), unutrašnjost postrojenja posle akcidenta, izgled stambene zone, posledice trovanja ugljen-monoksidom u stambenoj zoni.



Slika 2.36 - San Juan Ixhuatepec, avionski snimak pre i posle katastrofe, stambena zona obuhvaćena u dnu fotografija

Slika 2.37 - San Juan Ixhuatepec, tok akcidenta preko dana i noći

Slika 2.38 - San Juan Ixhuatepec, evakuacija povređenih i njihovo stanje

Slika 2.39 - San Juan Ixhuatepec, unutrašnjost postrojenja posle akcidenta

Slika 2.40 - San Juan Ixhuatepec, izgled najbliže stambene oblasti i nastradala porodica od trovanja ugljen-monoksidom

Zbog velike količine TNG, BLEVE načina dejstva domino-efekta, skladištenje je posebno rizičan podsistem opasne materije TNG (Park i sar., 2006). Pored skladišta, akcidenti s velikim brojem nastradalih i povređenih su se dogodili u drumskom i železničkom saobraćaju. Dana 24. septembra 1990. godine, na putu „Phetchaburi“ u Bangkoku (slika 2.41.), eksplodirao je tečni naftni gas (LPG liquid petroleum gas) kamionske prikolice. Eksplozija je izazvala velika materijalna razaranja a konačni bilans je bio 90 poginulih i 121 povređena osoba.

Slika 2.41 - Akcident Bangkok – Tajland, 14. septembar 1990. godine, opasna materija: TNG, drumski prevoz

Godine 2011, 29. juna, posle iskliznuća prvog vagona železničke kompozicije od 14 cisterni za prevoz TNG, došlo je do eksplozije prvog vagona u železničkoj stanici Viareggio, Italija (slika 2.42.). Eksplozija je izazvala velika materijalna razaranja, konačni bilans je bio 32 poginulih i 26 povređenih osoba (slika 2.43.).

Slika 2.42 - Akcident Viareggio, Italija, akcident u stanici i automobili van stanične zgrade u požaru posle eksplozije cisterne TNG

Slika 2.43 - Akcident Viareggio, Italija, automobili van stanične zgrade u stambenoj zoni okoline stanice, izgled stanice posle akcidenta, procenjena zona rizika akcidenta

BLEVE-efekat je posebno izražen za TNG zbog pritiska u skladišnim i transportnim sudovima. Ima veliki radijus dejstva plamena eksplozije i pritiska, koji se u metrima računa po formuli za propan i butan (Abassi i Abassi, 2007):

$$R_{Propan} = 5.55M^{0.333}, \quad R_{Butan} = 5.72M^{0.333}$$

Za TNG cisternu s 20 tona, ovaj radijus eksplozije je oko 145 metara, a fragmenti se mogu naći preko 100 m od centra eksplozije (za delove kotlova) do preko 300 metara (za manje delove (ventili, poklopci kotla, slavine kotla, itd.). Od pojave prvog plamena kotla/cisterne do eksplozije protiče od 4 do 10 minuta. Veće cisterne brže ekplodiraju.

Po podacima, svetska proizvodnja prirodnog gasa u 2013. godini iznosila je 313,36 milijardi m^3 (CEDIGAZ, 2014). Godišnja proizvodnja TNG u tonama iznosi oko 429 milijardi kilograma ili 729 miliona tona. Za 779 akcidenata koji su u 35-godišnjem periodu registrovani u bazi FACTS, dobija se rizik od akcidenta po proizvedenoj toni:

$$P(A)_{TNG} = \frac{n_{facts(TNG)}}{35 \cdot P_{TNG}} = \frac{779}{35 \cdot 729{,}000{,}000.00} = 0.0305 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.9. Vodonik

Vodonik, hemijski element simbola H, prvi elemenat periodnog sistema i najlakši hemijski element atomske mase 1.00794. Najzastupljenija supstanca u univerzumu ima izotope (deuterijum i tricijum). Vodonik je 1766. godine otkrio Henry Cavendish (1731-1810).

Vodonik spada u opasne materije (razred 2, UN broj 1049) s visokom reaktivnošću, širokim granicama eksplozije (od 4 do 75% u vazduhu), male energije paljenja (topi se na –259,16°C a ključa na –252,9°C, gustine od 0,07099 g/cm^3 u tački ključanja) i velikog rizika od eksplozije. Ipak, vodonik je izvor visokokvalitetne energije (Wierzba i Kilchyk, 2001), maksimalne poznate gornje toplotne moći u procesu sagorevanja od 142 000 kj/kg, temperature plamena 1930°C, s jedinstvenim produktom sagorevanja, vodom u parnom stanju.

U poslednjoj dekadi, značajno je porasla upotreba vodonika na svetskom nivou. Međutim, ovaj trend je povećao broj akcidenata u svim logističkim podsistemima, što je privuklo pažnju istraživača širom sveta. U poslednjih nekoliko godina izveden je značajan broj bezbednosnih studija (nazivi studija i projekata: European Integrated Hydrogen Project, HyApproval, StorHy, NATURALHY, HySafe, itd.), koje su istraživale brzine sagorevanja eksplozivne smeše (Sher i sar., 2013), faktore koji utiču na eksploziju (Marangon i sar., 2009), karakteristike detonacije (Zhang i sar., 2011) i evaluacije posledica (Petukhov i sar., 2009).

Za potrebe analize bezbednosnih apekata opasne materije Vodonik, u svetu je slično bazi FACTS razvijena specijalizovana baza incidenata i akcidenata HIAD (The Hydrogen Incident and Accident Database) kao istraživenje projekta “HySafe” (slika 2.44.).

Slika 2.44- Homepage baze HIAD

Na osnovu ove analize, u periodu 1958-2006. Godine, ustanovljeno je 38 akcidenata od kojih je 18 akcidenata realizovano eksplozijom (48%), 9 akcidenata je realizovano požarom vodonika (23%), 4 samo isticanjem (11%). U ovih 38 akcidenata fatalne posledice i povrede je zadobilo 156 osoba, od čega je u 129 slučajeva (83%) posledica eksplozije (Galassi i sar., 2012).
Najpoznatiji akcident s vodonikom se dogodio 6. maja 1937. godine. U katastrofi čuvenog Hindenburgovog cepelina, najvećem letećem objektu koji je do sada izgrađen (242 metra dužine, punjen sa 2 000 m^3 vodonika), u drugoj godini rada cepelina (redovne linije od Evrope do Južne i Severne Amerike) poginulo je 36 osoba: 13 putnika, 22 člana posade i jedan radnik na zemlji. Vodonik je tom prilikom korišten za uzgon cepelina (vodonik je lakši od vazduha), a do inicijacije požara i eksplozije (slika 2.45.) je došlo usled atmosferskog pražnjenja.

Slika 2.45 - Katastrofa Cepelina Hindenburg, 6 maj. 1937, Lakehurst, Newark, USA

Procenjena godišnja proizvodnja vodonika je oko 50.000.000,00 tona. Oko 53% proizvedenog vodonika se upotrebljava za dalju proizvodnju amonijaka, oko 20% u rafinerijskim procesima, oko 7% za proizvodnju metanola i 20% za ostale potrebe. Za registrovanih 339 akcidenata baze FACTS, procena rizika od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_H = \frac{n_{facts(H)}}{35 \cdot P_H} = \frac{339}{35 \cdot 50{,}000{,}000.00} = 0.1937 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

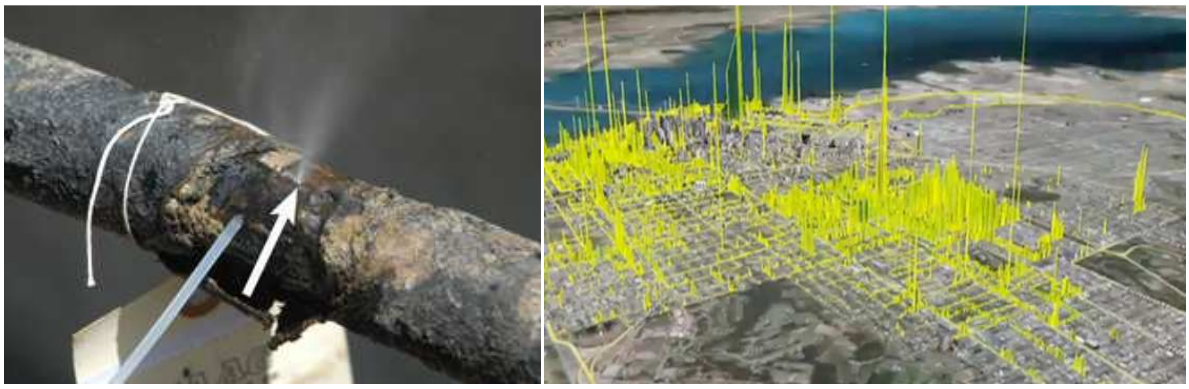
2.2.10. Prirodni gas

Prirodni gas je visokokvalitetno gorivo velike toplotne moći od 30000 do -39900kJ/Nm^3, gustine od oko 0,7 kg/m^3, temperture paljenja 650°C, temperature plamena 1950°C, Brzine sagorevanja na normalnom atmosferskom pritisku od oko 40 m/s, granice eksplozvine smeše od 4,5 do 15%. Lako se prevodi u tečno stanje, oznaka TPG (tečni prirodni gas, ili LNG u anglosaksonskom govornom području) gustine od 410 do 500 kg/^{3} (u zavisnosti od sastava), pogodan za transport. Sagoreva bez ostatka, ekološki je najprihvatljivije od svih prirodnih goriva, lako se transportuje cevovodima i ne zahteva skladišni prostor. Korišćenjem gasa mogu se ostvariti znatne uštede u energetici.

U prirodi se nalazi kao pratilac nafte ili u posebnim gasnim ležištima.Prirodni gas sastoji se u najvećem procentu (i preko 90%) od metana (CH_4), zatim etana (C_2H_6), butana (C_4H_{10}) i u manjem procentu ostalih lakih ugljovodonika. Prema sastavu se deli na:

- suvi gas, uglavnom od metana sa malim procentom propana i butana,
- mokri gas, veći procenat butana, a sadrži i pentan i heksan,
- korozivni gas, sadrži i okside sumpora.

Zbog značaja, njegova distribucija se vrši i stacionarnim postrojenjima cevnim instalacija, koje predstavljaju i najveći problem u inicijaciji akcidenata. Održavanje ove infrastruktue je izuzetno kompleksno. Na primer, država New York ima više od 70000 km mreže cevovoda



Slika 2.46: Isticanje prirodnog gasa iz cevovoda, ekspertni sistem za nadzor isticanja iz mreže za snadbevanje prirodnim gasom

Upravo je mreža za cevni transport uzrok mnogobrojnih akcidenata, a neki od njih se ubrajaju u katastrofalne. Primer isticanja prirodnog gasa iz cevovoda je prikazan na slici 2.46.

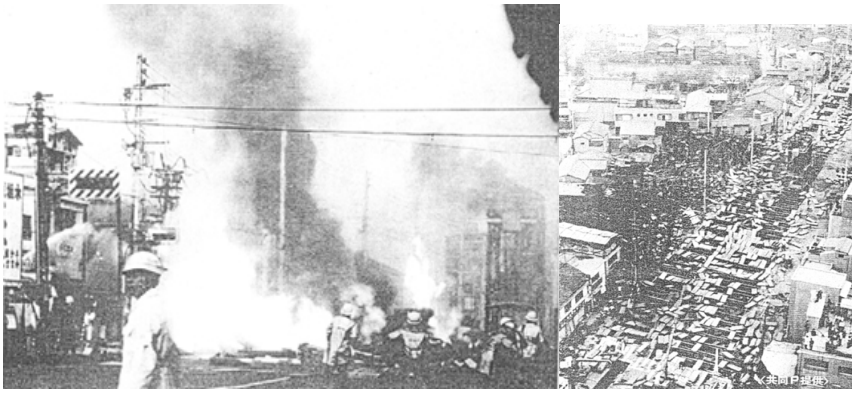
Akcident Ufa, 4 jun 1989, Čeljabinsk, Kujbjišev region, SSSR (slika 2.47): Dugo godina posle nesreće, potvrđeno je da je miris gasa ustanovljen od strane mašinovođe koji je podneo izveštaj oko 21.00 h, 03. 06. 1989. Međutim, iz administrativnih razloga, nije bilo reakcije na ovo upozorenje. Gas je isticao iz magistralnog gasovoda. Oko 4 sata kasnije, u 1.15h 04. 06. 1989. došlo je do eksplozije ekvivalentne snage od 250 do 300 tona TNT-a. Izvor paljenja nikada nije utvrđen, ali se predpostavlja da je do varnica došlo usled kočenja dva voza koji su se mimoilazili u stanici.Intenzivno i dugotrajno nekontrolisano isticanje gasa je potvrđeno u eksploziji koja je

proširila požar i do 10 km u radijusu kroz obližnje šume. Tačan broj nastradalih nikada nije precizno utvrđen. Aproksimacija identifikovanih tela i nestalih se krece oko 2200 osoba, a oko 3000 je bilo povređenih (Benmeir i sar., 1991).

Slika 2.47. Najveći akcident prirodnog gasa, Ufa Čeljabinsk, SSSR, 4. Jun 1989. godine

Pored najvećeg navedenog akcidenta, postoji još veliki broj katastrofalnih akcidenata prirodnog gasa, od kojih su na narednim slikama ilustrovani neki od njih (slike 2.48 do 2.54.):

Slika 2.48. Indianopolis, USA, 31. 10. 1963. godine, preminulo 74, povređenih oko 400



Slika 2.49.Osaka, Japan, 08. 04. 1970, godine, preminulo 79, povređeno 420.

Slika 2.50.Guadalajara, Meksiko, 22. 04. 1992. godine, preminulo 206 osoba, povređenih oko 500 a bez doma ostalo oko 15000.

Slika 2.51.Sangindong, Daegu, Južna Koreja, 28. 04. 1995. godine, preminula 101 osoba, povređenih 202.

Slika 2.52.Arkhangelsk, Rusija, 16. 03. 2004. godine, od posledica eskplozije gasa i urušavanja zgrade preminulo 58 osoba, nepoznat broj povređenih

Slika 2.53.Cijanhen, distrikt Kaoshiung, Tajvan, 31. 07. 2014.,preminulo 32 a povređeno 321, prekinuto snadbevanje gasom, vodom i strujom u preko 10000 domaćinstava.

Takođe, postoje akcidenti u drugim vidovima transporta kao što je akcident u Diyarbakır, Turska (Zengin i sar., 2014):

Slika 2.54. Akcident Diyarbakır, Turska, 21. Juli 2014 godine, preminulo 34 a povređeno 35,

Po podacima (CEDIGAZ, 2014) svetska proizvodnja prirodnog gasa u 2013 godini je iznosila 3376 milijardi m^3. Sa prosečnom gustinom od 0.7 do 0.9 k/m^3 u zavisnosti ot tipa gasa (usvojena srednja vrednost od 0.8) godišnja proizvodnja u tonama 2700 milijardi kilograma ili 2700 miliona tona. Za 1808 akcidenata koji su u 35-to godišnjem periodu registrovani u bazi FACTS, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{prirodniG} = \frac{n_{facts(\ prirodniG\ )}}{35 \cdot P_{prirodniG}} = \frac{1808}{35 \cdot 2{,}700{,}000{,}000.00} = 0.0191 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

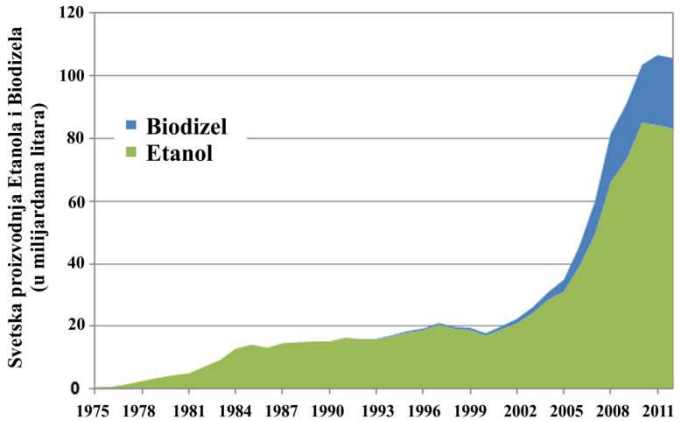
2.2.11. Etanol

Etanol, hemijska formula C_2H_5OH je lako isparljiva, zapaljiva, bezbojna tečnost, specifičnog mirisa. Specifična gustina zavisi od temperature.Fermentacija šećera u Etanol je jedna od

najranijih organskih reakcija koju je čovek realizovao. Suvi ostatci etanola su pronađeni na neolitskoj keramici, 9000 godina pre nove ere u Kini. Ograničavajući faktor u dobijanju Etanola procesom fermentacije je otpornost mikroorganizama – kvasaca koji uginu pri koncentraciji Etanola od maksimalno 18%. Etimologija reči alkohol ima arapsko poreklo "*al-kuhl*" i već kod starih grka i arapa je ustanovljeno da ova komponenta "duha vina" isparava na nižim temperaturama od temperature ključanja vode (temperatura ključanja Etanola 78,4°C). Za dobijanje veće koncentracije alkohola je ustanovljena destilacija, oko I veka nove ere u Aleksandriji. U XII veku poznate su antiseptičke osobine alkohola. Destilacija alkohola se vrši u Italiji u medicinskoj školi u Salernu, a frakcionu destilaciju je izumeo Tadeo Alderotti (1215-1295) u XIII veku. Čuveni Antoine Lavoisier (1743-1794) je prvi ustanovio da se Etano sastoji od Ugljenika, Kiseonika i Vodonika. 1796 godine, farmaceut Johann Tobias Lawitz (1757-1804) dobija čist Etanol filtracijom destilovanog kroz aktivni ugalj. Oko polovine XIX veka, Etanol postaje prvo hemijsko jedinjenje čija je strukturalna formula bila određena!

Etanol je poznati antiseptik i efikasniji je pri rastvoru od 70% nego visokokoncentrovani rastvor preko 90%. Koristi se uglavnom za površinsku kontaminaciju. Ne preporučuje se za dezinfekciju rana (bolji je vodonik peroksid) zato što ne ubija bacile tetanusa.

Toplotna moć Etanola je 29800 kJ/kg. Uz ekološke prednosti proizvodnje i upotrebe kao goriva, cena Etanola je skoro 2 puta niža od cene benzina. UN broj Etanola je 1170. Kao biogorivo, etanol se smatra gorivom budućnosti. Za sada se Etanol kombinuje sa fosilnim gorivima (u Brazilu je propisano 25%). U smesi sa 10% Etanola (oznaka goriva E10), emisija ugljen-monoksida se smanjuje sa 7 g/kg na ispod 5 g/kg (Wey i sar., 2005). U kombinaciji sa automobilskim benzinom, etanol povećava antidetonativnu sposobnost goriva (oktanski broj). Oktanski broj Etanola je procenjen na 108 do 109 oktana. Ove kvalifikacije Etanola značajno stimulišu njegovu proizvodnju, posebno u državama koje planirano eliminišu političku i ekonomsku zavisnost od kupovine zemnog ulja. Maksimum proizvodnje je postignut 2010 godine, posle rekordne cene barela od preko 140$. Za poslednjih 10 godina, proizvodnja Etanola se učetvorostručila (slika 2.55.). Pregledom evidentiranih akcidenata baze FACTS, ustanovićemo proporciju proizvodnje Etanola i broja akcidenata.



Slika 2.55. Svetska proizvodnja Etanola i Biodizela od 1975 do 2011 godine

Od 111 akcidenata, 28 je realizovano u periodu 1980–1999 godine ili prosečno 1,4 akcidenta godišnje, a od 2000 godine do danas, preostalih 83 akcidenta ili prosečno 5,33 akcidenta godišnje. Količnik srednjeg broja akcidenata 5,33/1,40=3,95≈4! Možemo zaključiti da je broj akcidenata upravo proporcionalan količini Etanola u logističkim podsistemima. Sa obzirom da očekivani porast proizvodnje i rast strateškog zanačaja Etanola, njegove distribucije i potrošnje, upravo za ovu opasnu materiju se moraju značajno unaprediti svi sistemi kojima se može smanjiti rizik od akcidenata. Na slici 2.56. su prikazane posledice eksplozije etanola od 14. 02. 2012 u Cherry Valley, Kanada.

Slika 2.56. 14. Februar 2012. godine, Cherry Valley, Kanada, 1 poginuo i 7 povređenih; 16 jula 2015 eksplozija kamionske cisterne za prevoz Etanola, Horicon, USA

Za 84,5 milijardi litara procenjene godišnje proizvodnje u 2013 (GRFA, 2012) uz gustinu Etanola od 0.789 kg/l dobija se ukupna masa proizvedenog Etanola u svetu od 67,000,000.00 tona. Za evidentiranih 111 akcidenata baze FACTS, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi::

$$P(A)_{C_2H_5OH} = \frac{n_{facts(C_2H_5OH)}}{35 \cdot P_{C_2H_5OH}} = \frac{111}{35 \cdot 67000000} = 0.0473 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.12. Dizel gorivo

Herbert Akroyd-Stuart (1864-1927) je bio engleski inovator koji je započeo istraživanje konstrukcija motora SUS koji bi umesto lako zapaljivog benzina mogli koristiti parafinske frakcije. Konačan patent 1983 ovog motora je izveo Rudolf Christian Karl Diesel (1858 – 1913). U osnovi ideje je postizanje manje brzine rada (broja obrtaja) i gubitka toplotne energije na usisnim i izduvnim ventilima u adijabatskim procesima I paljenje goriva toplotnom energijom visoko sabijenog vazduha a ne varnicom kao kod benzinskih motora. Dizel motori imaju značajno veći stepen korisnog dejstva koji kod velikih brodskih motora mogu biti 0.50.

U užem smislu, pod dizel gorivom se smatra frakcija nafte u intevalu od 170 do 360°C i deli se na vrlo lako dizel gorivo (za brzohodne mašine i niske temperature okoline), lako dizel gorivo (za brzohodne mašine i prosečne temperature okoline) i teško dizel gorivo (za stabilne i brodske

motore). Jedan od najvažnijih parametara dizel goriva je temperaturna filtrabilnost (otpornost na kristalizaciju pri nižim temperaturama) i cetanski broj (od 40 do 45), koji je ekvivalent oktanskom broju benzinskih SUS motora.

Pod dizel gorivom u širem smislu se podrazumeva svako gorivo koje se koristi u SUS motorima kod kojih se paljenje goriva realizuje kompresijom. Danas je posebno aktuelna proizvodnja biodizela, obnovljivom izvoru energije I manjeg zagađenja životne sredine. Osnovne poljoprivredne kulture za proizvodnju biodizela su Uljana repica, soja, suncokret i palma. Dovoljno je napomenuti da je još 1900 godine, Rudolf Dizel predstavio svoj motor koji je radio na ulje od kikirikija (Nitske i Wilson, 1965)! Međutim, u mnogim karakteristikama, ova alternativna goriva još uvek ne mogu dugotočno substituisati osnovno gorivo (tabela 2.3., Knothe i sar., 2004) a za sada je aktuelan proces formiranja adekvatnih mešavina.

Tabela 2.3. Neke Komparativne karakteristike Biodizela od biljnih ulja i osnovnog D2 Dizela

Ulje	**Cetanski broj**	**GTM (kJ/kg)**	**Kinematska Viskoznost (mm^2/s)**	**Temperatura zamućenja (°C)**	**Temperatura Stinjavanja (°C)**	**Temperatura paljenja (°C)**
Kukuruzno	38	39500	34.9	–1.1	–40	277
Palmino	42 do 64	-	38.2	–3.5		267
Repičino	38	40220	37.8	–3.9	–32	246
Sojino	38	39620	32.6	–4.0	–9	254
Suncukretovo	37	39580	37.1	+7.2	–15	274
Dizel, D2	49	45150	2,7	–	–	Od 55

Za reprezentativni je izabran akcident požar u skladištu goriva u Džajpuru, Radžastan, Indija, 29. Oktobra 2009 godine (slika 2.57.). Bilans je bio 12 poginulih, preko 200 povređenih, oko ***pola miliona evakuisanih*** (lokacija skladišta je 16 km od centra Džajpura, metropolisa sa preko 6.5 miliona stanovnika), obustavljen je drumski saobraćaj u široj zoni akcidenta i avionski letovi sa internacionalnog aerodroma Džajpur (lokacija aerodroma 5 km od akcidenta). U seriji požara i eksplozija koje su trajale preko nedelju dana, uništeno je oko 50.000.000 litara dizel goriva. Skladišteni dizel je zapaljen u DOMINO efektu izazvanog neispravnim rukovanjem pretovarnog sistemoma za benzin (najverovatnije pre uključenja pretovarne pumpe nije otvoron ventil pumpe ili ventil rezervoara kojim se rukovalo ručno). Pretovar je počeo u 16h, oko 19h benzinske pare su se osetile u bližim stambenim četvrtima, a u 19.35 je iz neutrvrđenog razloga došlo do samozapaljenja benzina. Od jačine ekplozije su polomeljena stakla u radijusu od 3km.

Slika 2.57. Akcident Jaipur, Indija, 29. Oktobar 2009 godine ekpertiza domino efekta akcidenta (Karnwal i sar., 2009)

Raspodela proizvodnje dizel goriva 2012 godine u svetu je bila sledeća : USA $222101 \cdot 10^3$t, Kina $170638 \cdot 10^3$t, Indija $91085 \cdot 10^3$t, Rusija $69436 \cdot 10^3$t, Japan $45381 \cdot 10^3$t, Nemačka $43580 \cdot 10^3$t, Južna Koreja $41879 \cdot 10^3$t, Brazil $39881 \cdot 10^3$t, Italija $35099 \cdot 10^3$t, itd. Ukupna svetska proizvodnja je iznosila oko 1222437000 t. Za 896 akcidenata u 35-to godišnjem periodu, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{NH_3} = \frac{n_{facts(Dizel)}}{35 \cdot P_{Dizel}} = \frac{896}{35 \cdot 1{,}222{,}437{,}000} = 0.02094 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.13. Dehidrirani amonijak i amonijak

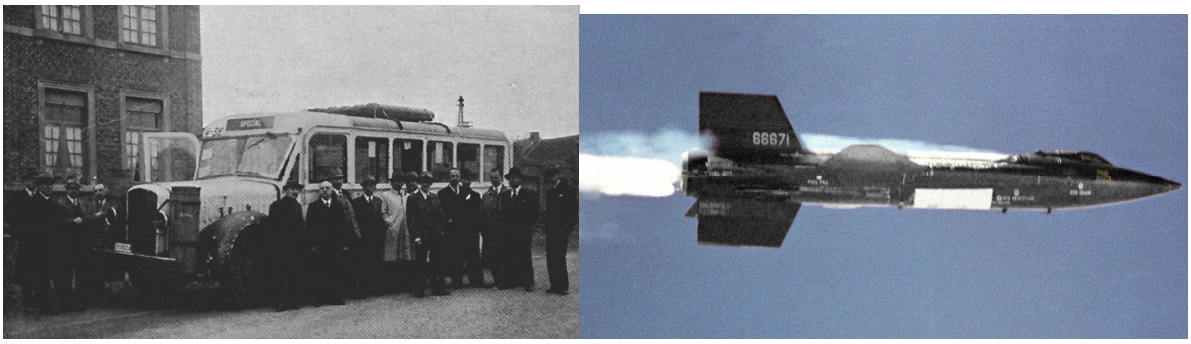
Prve podatke o Amonijaku nalazimo u spisima rimskog filozofa Gajusa Plinijusa II (Gaius Plinius Secundus**,** 23-79), pod nazivom “Amunova so” (*sal ammoniacus*), otkrivene po depozitima amonijum-hlorida u blizini Hrama posvećenu jednom od najvažnijih egipatskih bogova Amona u drevnoj Libiji.

Amonijak, hemijska formila NH_3, prvi put je izolovao Joseph Priestley (1733 – 1804)1774 godine. Ima izuzetnu primenu u industriji, pre svega u poljoprivredi kao osnovna komponenta za proizvodnju složenih veštačkih đubriva, široke primene u hemijskoj i tekstilnoj industriji (veštačka svila), u proizvodnji eksploziva, kao gorivo, u prehrambenoj industriji za zamrzavanje namirnica, u rashladnim uređajima skladišta i transporta, itd. Procenjena proizvodnja amonijaka na svetskom nivou u 2012 godini iznosila je 131,000,000.00 tona. Od toga, samo u Azijskim zemljama preko 60 milona tona, Evropa oko 15 miliona tona, a Rusija oko 12 miliona tona. UN broj 1005, razred 2.3. (osnovni rizik otrovni gas), podrazred 8 (korozivan gas). Na osnovu broja akcidenata (814) u 35-to godišnjem periodu, rizik od akcidenta po troizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{NH_3} = \frac{n_{facts(NH_3)}}{35 \cdot P_{NH_3}} = \frac{814}{35 \cdot 131{,}000{,}000} = 0.1775 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

U normalnim uslovima, Amonijak je gas oštrog mirisa, lakši od vazduha, lako rastvorljiv u vodi, sa korizivnim i toksičnim dejstvom. U čvrstom stanju, Amonijak je beli kristal sa tačkom topljenja od T_t=−77.73 °C i specifičnom gustinom ρ=817 kg/m^3. Prelaskom u tečno stanje, Amonijaku se smanjuje specifična gustina do 681.9 kg/m^3 pri tački ključanja od T_k=−33.34°C, a prelaskom u tečno stanje postiže specifičnu gustinu od 0.870 kg/m^3. Na temperaturi od 15°C pri pritisku od 1013 mbar, specifična gustina iznosi0,730 kg/m^3. Temperatura samozapaljenja je 651°C, toplotna moć iznosi 22500 KJ/kg. Sa15-28% učeća u vazduhu Amonijak gradi eksplozivnu smešu.

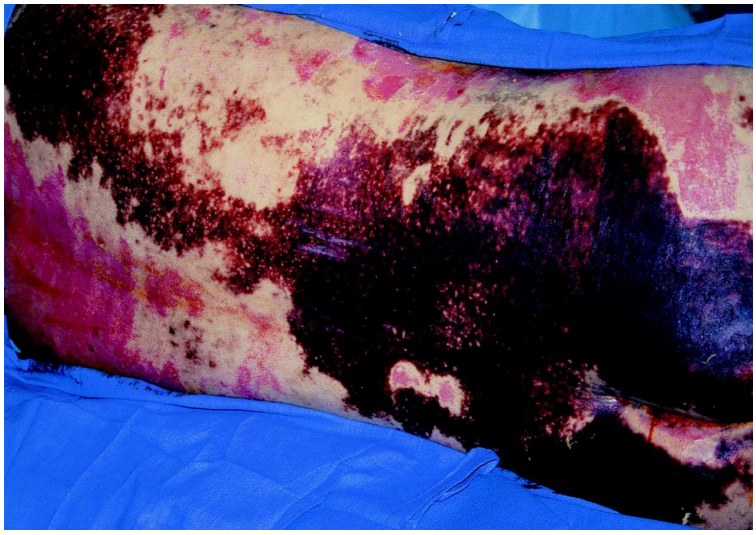
Amonijak se već koristio za pokretanje motora sa unutrašnjim sagorevanjem (pogon autobusa u Belgiji tokom II Svetskog rata) (slika 2.58.). Problem Amonijaka je u malom oktanskom broju. Takođe, tečni amonijak se koristio i kao raketno gorivo za pokretanje hipersoničnih raketa X-15, raketni motor XLR–99 potiska od 254 kN (slika 2.58.). Međutim, iz niza razloga, raketni motor sa Amonijakom se pokazao kao nepouzdan i nebezbedan.



Slika 2.58. Autobus sa SUS motorom na pogonsko gorivo – amonijak (uočljivi cilindrični rezervoari za Amonijak na krovu autobusa) i raketni motor X15, pogon amonijak

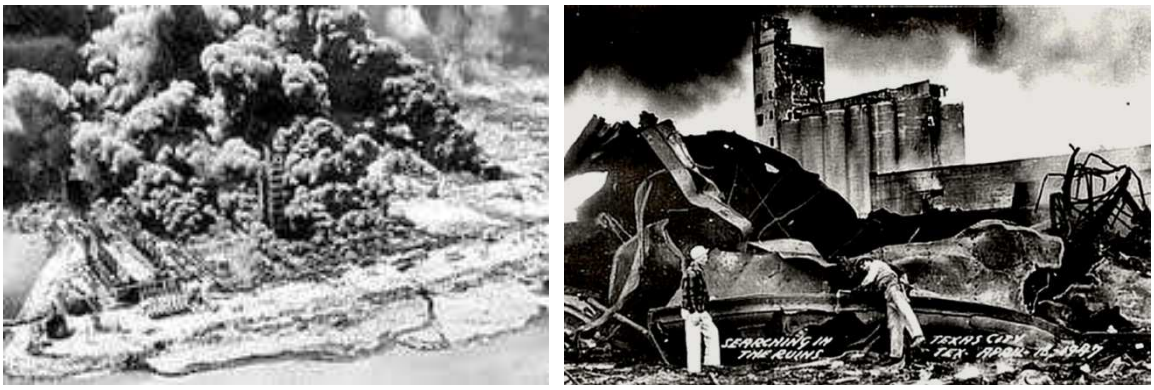
Amonijak ima hazardni potencijal za izazivanje teških oštećenja zbog toksičnih efekata zasnovanih na njegovoj alkalnoj hemijskoj prirodi. Letalna doza LD_{50}=0,015 ml/kg. Osim toga, može izazvati i promrzline od I do III stepena zbog egzotermne prirode, prilikom isticanja tečnog amonijaka. Povrede koje nastaju od smrzavanja kod ljudi proizvode teške sistemske komplikacija praćenje izraženim toksičnim efektima i često imaju smrtne ishode (George i sar., 2000) (slika 2.59.).

Prilikom udisanja može izazvati laringitis, tracheobronchitis, bronhiolitis, bronhopneumonije i plućni edem. Kod pacijenata koji su preživeli akutnu fazu može se razviti bronchiectasis, preosjetljivost disajnih puteva, obliterantni bronhiolitis, hronična opstruktivna bolest pluća a povremeno intersticijska bolest pluća (Tonelli i Pham, 2009).



Slika 2.59. Povrede nastale od amonijaka (Amshel i sar., 2000)

Akcidente opasne materije Amonijaka i proizvoda na bazi amonijaka (najčešće amonijum-nitrat) spadaju među akcidente sa najvećim ustanovljenim posledicama. Dana 16 aprila 1947 godine u luci grada Teksasa došlo je do požara na brodu koji je prevozio amonijum-nitrat, što je izazvalo seriju požara i eksplozija (domino efekat) u lučkom skladištu sa velikim količinama uskladištenog amonijaka (slika 2.60.). Eksplozije su trajale i sudradan, 17. Aprila. Epilog je bio 536 poginulih, oko 3500 povređenih od čega oko 800 hospitalizovanih.



Sika 2.60. Akcident Texas City Harbour, 16/17 april 1947 godine

U novijem dobu, veliki akcident se dogodio zbog kvara na rashladnim uređajima u hladnjači Shanghai Weng's Cold Storage Industrial Co. Ltd. 31 avgusta 2013 godine. Zbog curenja amonijaka u ovom akcidentu je poginulo 25 a povređeno 26 radnika.

Reprezentativni akcident sa amonijakom se realizovao 24. Marta 1992 godine, u Luci Dakar, Senegal (slika 2.61.). Zbog nepropisno održavanog i prepunjenog tanka za skladištenje amonijaka, došlo je do rupture kotla na nešavnom delu i isticanja kompletnog sadržaja, procenjeno na oko 22.18 tona. Zbog lezija nastalih od edema pluća, u narednim danima je preminulo 116 osoba, a sa teškim i lakšim otećenjima tj. povredama je evidentirano 1150 osoba.

Slika 2.61. Dakar akcident, Amonijak, 1992. Godina.

2.2.14. Sumporna kiselina

Sumporna kiselina je neorganska kiselina molekulske formule H_2SO_4, bezbojna uljasta tečnost. Ulje ili "duh" Vitriola, poznat je od davnina, od Sumerskog perioda, preko antičke Grčke (Dioscorides, I vek nove ere), Rimske imperije (Plini, 23-79 nove ere), čuvenog Galena od Pergamona (129-200 nove ere) i Persije (Jabin ibn Hayyan, 721-815). Prva industrijska proizvodnja Sumporne kiseline je realizovana 1736. godine iz sulfata Gvožđa i Bakra u Engleskoj. Ovaj postupak je davao male količine. U Sjedinjenim Američkim Državama, industrijska proizvodnja počinje 1793. godine.Velike količine sumporne kiseline su postale dostupne postupkom sagorevanja šalitre uz dodatak vode. Čistoća ovako dobijene Sumporne kiseline je uobičajeno bila preko 70%. Danas je aktuelan kontaktni postupak (sagorevanje sumpor dioksida u sumpor trioksid) koji se izvodi u prisustvu Platine kao katalizatora, patentiran još davne 1831. godine.

Sumporna kiselina je strasteški proizvod i ima izuzetnu industrijsku primenu: u proizvodnji veštačkog đubriva, u metalurgiji – proizvodnji bakra, čelika i urana, rafinaciji goriva u petrohemiji, u industriji boja, u proizvodnji eksploziva, u industriji deterdženata, proizvodnji akomulatora (kao elektrolit), u petrohemiji za rafinaciju petrola, papirnoj industriji, za dobijanje većine mineralnih kiselina i soli, itd.

Sumpormna kiselina ima veliki afinitet prema vodi, zbog čega burno reaguje sa vodom uz oslobađanje velike količine toplote: 83,35 kJ/mol, a reakcije sa vodom dovodi do kontrakcije zapremine. U kontaktu sa organskim supstancama (nitrati, hlorati) može se izazvati požar. Sumporna kiselina ugljeniše organske supstance (drvo, skrob, papir).Zbog ovih karakteristika, preko 30% akcidenata sa Sumpornom kiselinom ima smrtonosan ishod (Milner i sar., 1996). Ustanovljeno je da se kod preživelih u akcidentu javlja velika smrtnost u 10-to godišnjem periodu po akcidentu (Wei i sar., 2013). Inhalacija parama Sumporne kiseline izaziva trajna, nepopravljiva oštećenja respiratornih organa ili fatalan ishod. Potencija karcinomogeneze Sumporne kiseline je ustanovljena pre 30 godina (Block i sar., 1988). Primer fatalnog ishoda kao poseldica akcidenta sa sumpornom kiselinom dat je na slici 2.62.

Slika 2.62. Fatalan ishod nestručne primene Sumporne kiseline, primer posledica inhalacije, autopsija Larynx-a sa vidljivim oštećenjima nastalim dejstvom Sumporne kiseline (Benomran i sar, 2008)

Povrede pri akcidentima sa Sumpornom kiselinom imaju izrazito nepovoljnu raspodelu: 14,1% pacijenata ima opekline celog tela (total body surface area - TBSA (slika 2.63.)), a u 66,7% povredu glave koje u pravilu prati delimično ili potpuno slepilo (Asaria i sar., 2004).

Slika 2.63. TBSA pacijent iz akcidenta sa Sumpornom kiselinom

Za reprezentativni akcident je izabrana ekološka katastrofa od 12. Avgusta 2014. Meksiko, oblast reke Sonore (severozapadni deo Meksika) (slika 2.64.). Za portrebe jednog od najvećih rudnika bakra u Meksiku, Buenavista, obavljan je železnički prevoz Sumporne kiseline kanjonom reke Sonore. Zbog iskliznuća kompozicije vagona – cisterni za prevoz Sumporne kiseline, došlo je do nekontrolisanog istakanja oko 40000 kubnih metara ove opasne materije. Time je u potpunosti onemogućeno skromno snadbevanje vodom, a dugoročno je uništena poljoprivreda i stočarstvo u regionu.

Slika 2.64. Reka Sonora, pre i posle akcidenta, bliži izgled reke posle akcidenta

Po dostupnim podacima, godišnja svetska proizvodnja sumporne kiseline je početkom II decenije XXI veka na godišnjem nivou od oko 200,000,000.00 tona, a po podacima iz 2012 godine, obim godišnje proizvodnje je 290,000,000.00 tona. Od proizvedenih količina, procenjeno je da se oko 50% koristi u fosfatnim fertilizerima za proizvodnju veštačkog đubriva a 10% u metalurgiji. Za proizvodnju Fluorovodonične kiseline se koristi oko 2% Sumporne kiseline. Najveći proizvođač je Kina, USA, EU, Rusija. Za 1350 akcidenata koji su evidentirani u bazi FACTS u 35-to godišnjem periodu, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{H_2SO_4} = \frac{n_{facts(H_2SO_4)}}{35 \cdot P_{H_2SO_4}} = \frac{454}{35 \cdot 290,000,000} = 0.0447 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.15. Zemno ulje

Zemno ulje, jedino prirodno tečno gorivo predstavlja smešu velikog broja ugljovodonika i polaznu sirovinu u proizvodnji benzina, dizel goriva, rafinerijskih gasova, mazuta mnogih drugih proizvoda petrohemijskog kompleksa. Kao sirovina ima najveći opšti industrijski značaj. Predstavlja opasnu materiju razreda 3. UN broj zavisi od stepena vatroopasnosti (zapaljivost do 23°C, vatroopasne) može biti 1202, 1267, itd.

Zemno ulje ili u terminologiji poznatije kao Nafta je smeđe zelena do smeđe crna uljasta tečnost (na nižim temperaturama prelazi u čvrsto stanje zbog alkana parafinskog niza), specifične težine od 820 do 920 kg/m^3. Nalazi se u sedimentnim slojevima Zemlje na dubinama i preko 5 km. Nafta je složena smesa ugljovodonika alkanskog, alkenskog, cikloalkanskog, aromatskog, itd. reda. Sastav i toplotna moć (oko 42000 do 48000 kJ/kg) zavisi od nalazišta (parafinske, naftenska ili aromatska baza). Navedena je još i Bibliji, poznata u staroj Persiji, u srednjem veku smatrana za lek (ulje svetog Kirinusa).

Glavne rezerve nafte se nalaze na Bliskom Istoku: Saudijska Arabija oko 25%, Irak oko 11%, UAR oko 9%, Kuvajt oko 9%, Srednja I Južna Amerika 9%, Iran 8%, Afrika 9% (Libija 2%), USA 6%, Rusija 6%, Evropa 2%. Najveći proizvođač nafte na svetu je Saudijska Arabia.

Najveći obim transporta Zemnog ulja se obavlja pomorskim transportom. Izlivanje zemnog ulja pri prevozu tankerima (ili curenje iz bušotina) zbog fizičkih osobina nafte (lakša od vode) I hemijskih osobina uzrokuje odumiranje kompleksnim mehanizmom. Najpre, onemogućuje normalan razvoj planktona, osnove lanca ihrane, a zatim prirodnim procesom razgradnje nafte u kojem učestvuju bakterije, gljive i alge usled čega dolazi do opšte biodegradacije i enormnog smanjenja kiseonika u vodi. Procena je da jedan kubni metar izlivenog Zemnog ulja iscrpljuje kiseonik iz 400000 m^3 vode. Primer izlivanja zemnog ulja u morski ekosistem dat je na slici 2.65.

Slika 2.65. Izlivanje Zemnog ulja u morski ekosistem, posledice

Jedna od najvećih akcidenata u kopnenom prevozu Zemnog ulja se dogodio u železničkom transportu, na putnom prelazu u delu Lac-Mégantic, Quebec, Kanada, 6. Juli 2013. godine (slika 2.66.). Do akcidenta je došlo usled iskliznuća jednog od vagona železničke kompozicije. Od 42 poginule osobe, 39 je identifikovano u prvih 30 dana, jedno je identifikovano posle više od godinu dana, a dve osobe nisu identifikovane do dan danas. Tri osobe se još uvek vode kao nestale. 2000 osoba je evakuisano. Uništeno je oko 30 zgrada, 115 preduzeća, biblioteka, itd. Ukupna nadoknada štete je iznosila oko 50 miliona $.

Slika 2.66. Akcident Lac-Mégantic, 6. Juli 2013. godine i stanje posle akcidenta.

Prosečna dnevna proizvodnja zemnog ulja u 2013 godini je iznosila oko 85 miliona barela, tj. 13513.3 miliona litara (1 barel je 158,93 lit.), što uz gustinu nafte od 0.820 do 0.920 kg/l (varijacije u zavisnosti od sastava baze, usvojena srednja vrednost 0.870 kg/l) daje ukupnu masu godišnje proizvodenje od 4291148.415 miliona kilograma, tj. oko 4300 miliona tona. godišnje. Za 1350 akcidenata koji su evidentirani u bazi FACTS, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{ZU} = \frac{n_{facts(ZU)}}{35 \cdot P_{ZU}} = \frac{1350}{35 \cdot 4300{,}000{,}000.00} = 0.0089 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona}$$

2.2.16. Hlor

Hemijski elemenat Hlor je otkrio švedski hemičar Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786) 1774. godine, ali pod predpostavkom da je gasovito jedinjenje a ne hemijski elemenat. Ime ovom elementu je 1810 godine dao britanski hemičar Humphry Davy (1778 – 1829) koji je utvrdio da je supstancija koju je Šele otkrio hemijski elemenat. Ime je dobio po grčkoj reči „chloros“ što znači „zelenožuti“.

Hlor je nemetal halogene grupe sa atomskim brojem 17, teži je od vazduha 2,5 puta, temperature topljenja 171,6°K (–101,55°C) i temperature ključanja 239,11°K (–33,04°C). Gustina hlora je 3.214 kg/m^3 oko 2,5 puta teže od vazduha, neprijatnog je i zagušljivog mirisa, veoma otrovan. Hemijski je veoma aktivan gradeći hloride ili hlorate. Čist Hlor se javlja kao dvoatomni molekul Cl_2. Odlično se rastvara u vodi (u zavisnosti od temperature vode, npr. na 10°C u jednom litru vode se rastvara 3,10 litara Hlora). Veoma je rasprostranjen u prirodi i nalazi se skoro u svim živim organizmima.

Pored mnogobrojnih zasluga za otkrića na polju elektriciteta, engleski fizičar i hemičar Michael Faraday (1791 - 1867) inače i učenik Humphry Davy-ija, ima velike zasluge za primenu hlora u intenzivnoj industrijskoj upotreba Hlora, pre svega u industriji tekstila i papira. Današnja

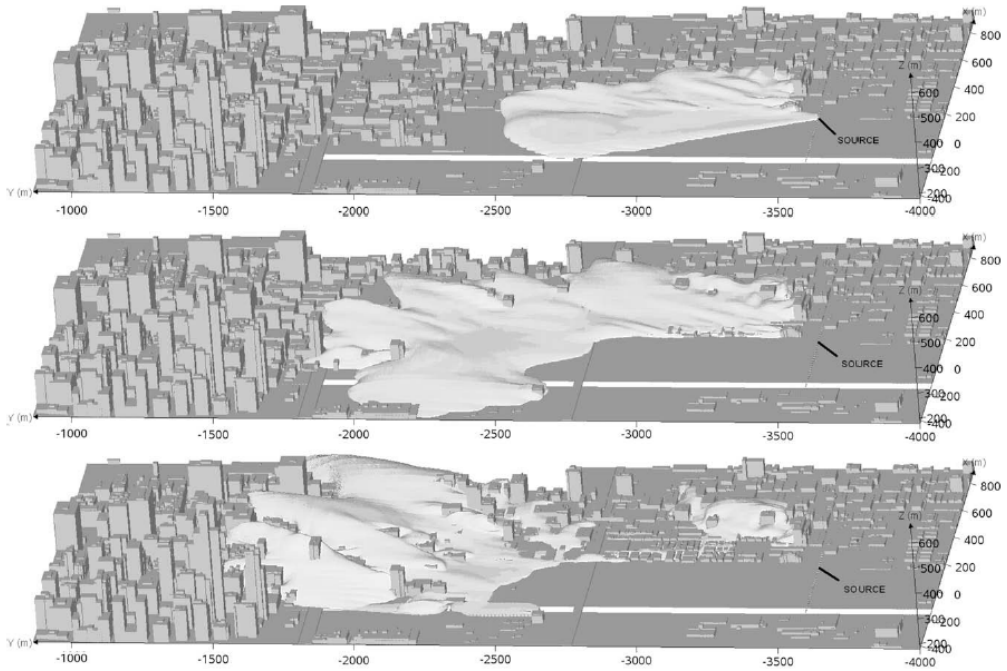
upotreba hlora je višestruka: od plastičnih masa, za dezinfekciju, u naftnoj i farmaceutskoj industriji, u industriji boja i lakova, i kao nekad u industriji tekstila i papirne galanterije.

Najbolja ekspresija Hlora kao opasne materije je u funkciji oružja, bojnog otrova zvanog "Bertolit" prvi put upotrebljen tokom I svetskog rata 22. Aprila 2015. godine od strane Nemačke u drugoj bitci za Ypres, udisanjem Hlora u uslovima povećane vlažnosti u disajnim putevima i plućima dolazi do sinteze Hlorovodonične kiseline. U kasnijim bitkama I Svetskog rata, Hlor je substituisan efikasnijim Fozgenom (hemijske formule $COCl_2$ koji je takođe baziran na Hloru). Međutim, iako su u međuvremenu pronađeni neuporedivo opasniji bojni otrovi, Hlor je i danas aktuelan bojni otrov. 24. Oktobra 2014. godine, ISIL su upotrebile Hlor u bitci za grad Duluiyah u Iraku protiv kurdskih jedinica Pešmerga.

Reprezentativni akcident se realizovao na industrijskom koloseku hemijske fabrike u Festusu, St. Lois, USA, 14. Avgusta 2002. godine (slika 2.67.) počeo je u jutarnjim časovima, 9h 20min u zoni visoke naseljenosti. Cisterna sa 21792 kg hlora, normalnog pritiska, ambijentalne temperature 20°C, sa zanemarljivim strujanjem vazduha, bez vetra (Sanchez, 2013). Do akcidenta je zbog pucanja pretovarnog creva. Međutim, zbog automatskog zatvaranja nekih sigurnosnih ventila, isticanje hlora je bilo ograničeno na malu brzinu oko 2 kg/sec tokom naredna tri sata. Isticanje je bilo usmereno u podnožje vagona što je onemogućilo brzo prostiranje gasa i difuziju visoke koncentracije Hlora. Gas hlora je održavan na visini oko 1m iznad zemlje, unutar postrojenja oko 30 metara duž stanice. Radnici – operateri na pretovaru su imali adekvatnu opremu i obuku za upotrebu opreme realizaciju propisanih procedura za slučaj akcidenta. Sistem alarma je na vreme upozorio zaposlene koji su takođe striktno sledili proceduru evakuacije. Isticanje je zaustavljeno reakcijom specijalizovane jedinice za hemijske akcidente (HAZMAT unit).Brzo su aktivirane medicinske službe, procenjen je glavni vektor prostiranja Hlora, saobraćajna policija je brzo zatvorila rizične puteve, ostale jedinice za slučaj opasnosti su sistemom „od vrata do vrata" izvršile evakuaciju, uz dodatno učešće operatera mobilne telefonije i televizije preko koje su se prenosila uputstva za postupanje. Plan za akcidentne situacije po kojem se postupalo je donet 1996. godine (Emergency Response Plan). Iako su potencijali akcidenta bili preteći, broj povređenih (sa respiratornim problemima) je iznosio 63, od čega je svega troje zadržano na celodnevnom posmatranju.

Slika 2.67. Akcident „Festus, televizijski izveštaj"

Posle akcidenta „Festus“ i analize njegovog povoljnog ishoda, ustanovljen je značaj plana za akcidentne situacije, ali je ipak naglašeno da su vremenski uslovi bez vetra bili izuzetno povoljni. Razmatranjem alternativnih scenarija primenom CDF (Computational Fluid Dynamics) modela (slika 2.68.), zaključeno je da bi u najnepovoljnijim uslovima (južni vetar) koncentracija od 100 ppmv zahvatila centralne delove St. Luisa u periodu od oko 30 minuta. U skladu sa simuliranim rezultatima, dopunjen je i unapređen plan za akcidenten situacije (Steven i sar., 2009).



Slika 2.68. Primena CDF modela za najnepovoljnije scenarije akcidenta „Festus“. Vremenske sekvence prostiranja hlora se odnose na 400, 800 i 1500 sec

6. Januara 2005. godine u Granitevilu, Južna Karolina, USA došlo je do sudara dva voza železničke kompanije “Norfol Southeren” zbog pogrešnog signala postavljanja skretnice (slika 2.69.). U teretnoj kopoziciji sa 42 kola, usled sudara i naletanja kola, došlo je do rupture tanka cisterne sa 90 tona Hlora. Preko 60 tona je u kratkom vremenskom intervalu oslobođeno u atmosferu formirajući oblak visoke koncentracije u centralnom delu naselja. Oko 5400 stanovnika u radijusu od 2 km je bezuslovno evakuisano. Plan za akcidentne situacije nije postojao, ni za radnike železnice ni građane. U analizi ovog akcidenta se smatra da je 9 fatalno nastradalih radnika i sugrađana “povoljan ishod”.Međutim, uništena populacija ptica u širem radijusu je jedan od indikatora ekoloških posledica. Intenzivno raščišćavanje i dekontaminacija tereta specijalnih HAZMAT jedinica je trajala preko dve nedelje. Akcident “Gratnevil” je pokrenuo veliki broj pitanja, a pre svega je uticao na intenzivnu modernizaciju železničkih signalno-sigurnosnih sistema na teritoriji Sjedinjenih Američkih Država.

Slika 2.69. Akcident Gratnevil, Južna Karolina, USA, 2005. godine

Po procenama iz 2007 godine, godišnja svetska proizvodnja Hlora je iznosila oko 56,000,000.00 tona (WCC, 2007). Od toga u Evropi se proizvodilo oko 16 miliona tona. Najveći deo svetske proizvodnje Hlora, oko 39% se upotrebljava u daljoj proizvodnji PVC-a, oko 18% za prozvodnju izocianata i oksigenata, 16% u neorganskoj primeni hlora, 6% za proizvodnju silikona, itd. Za 536 akcidenata koji su evidentirani u bazi FACTS u 35-to godišnjem periodu, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{Cl} = \frac{n_{facts(Cl)}}{35 \cdot P} = \frac{536}{35 \cdot 56{,}000{,}000.00} = 0.2734 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona \cdot god}$$

2.2.17. Azotna kiselina

Azotna kiselina, HNO_3 .je izuzetno jaka neorganska kiselina, bezbojna i otrovna tečnost. Prvi put je sintetisana u IX veku nove ere u Persiji (Jabin ibn Hayyan, 721-815 – vidi Sumpornu kiselinu). Takođe je gušća od vode 1512 kg/m^3, tačke topljenja –40°C, tačke klučanja 83°C. Lako isparava karakterističnim žutim i crvenim isparenjima. Proizvodi se Osvaldovim postupkom. Ima veliki industrijski značaj. Preko 85% ove opasne materije se koristi u proizvodnji Amonijaka i eksploziva (tačna raspodela se ne može utvrditi), a oko 10% u proizvodnji poliuretana.

Azotna kiselina ne gori, ali je jak oksidant. Toplota reakcije može inicirati požar. U reakciji sa metalima (rastvara Zlato i Platinu – ulazi u sastav Carske vode) oslobađa se Vodonik. Azotna kiselina eksplozivno reaguje sa zapaljivim organskim supstancama ili lako oksidativnim materijalima (alkoholi, ugalj). Zbog velike inkopatibilnosti sa ostalim hemikalijama, materijalima i supstancama a lake isparljivosti, predstavlja opasnu materiju koju je teško skladištiti. Letalne doze su 430 mg/kg (oralno za čoveka), Inhal pacov LC50 = 67 ppm(NO2)

/4h (inhalacija - pacov). UN broj opasne materije je 2031, razreda 8, s tim što se u vodnom i avio transportu tretira kao podklasa 5.1.

Traume sa Azotnom kiselinom dovode do denatureacije proteina (keratina)i koagulaciju sa specifično žutim do braon broje kože (slika 2.70.). Opekotine se razvijaju značajno sporije nego kod Sumporne kiseline, destrukcija tkiva nije duboka kao kod Sumporne i Fuorovodonične kiseline. Opekotine su dominantno I stepena, II stepena oko 45%, a trećeg 10%. Međutim, postoji problem u određivanju dubine opekotina. Ispiranje rana se vrši sa Sulfadiazinom, rane se moraju bandažirati i primeniti antiseptički tretmani. Uobičajeni hiruški tretman presađivanja kože je uspešan.

Slika 2.70. Proces lečenja pri površinskoj kontaminaciji Azotnom kiselinom. Karakteristične žute i braon promene na boji kože prvih dana i proces lečenja (Kolios i sar., 2010)

Po procenama iz 2009 godine, godišnja svetska proizvodnja Azotne kiseline je oko 60,000,000.00 tona. Za 225 akcidenata koji su evidentirani u bazi FACTS u 35-to godišnjem periodu, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{Cl} = \frac{n_{facts(HNO_3)}}{35 \cdot P} = \frac{225}{35 \cdot 60{,}000{,}000.00} = 0.1071 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona \cdot god}$$

2.2.18. Hlorovodonična kiselina

Hlorovodonična kiselina je bezbojna do bledožuta tečnost, hemijske formule HCl. Iako nema oksidacione osobine, Hlorovodonična kiselina je jedna od najjačih neorganskih kiselina. Potpuno je rastvorljiva u vodi.

LC_{50} 3124 ppm/1h (inhalacija –pacov) i LC_{50} 900 mg/kg (oralno - zec). Izuzetno štetna za vodeni svet u koncentracijama većim od 2800 ppm u slatkoj vodi i 100 ppm u slanoj vodi.

Carska mešavina je prvi put dobijena u XIII veku rastvaranjem Amonijum-hlorida, evidentirano i opisano u alhemijskoj knjizi Pseudo-Geber (nepoznat autor). Neke druge reference ukazuju da je Carska mešavina bila poznata i u Vizantiji (Myers, 2007) značajno ranije, ali do XVI veka nije ustanovljeno da je indirektno otkrivena Hlorovodonična kiselina. Hlorovodoničnu kiselinu je zvanično otkrio nemački hemičar Andreas Libavius (1555 – 1616).

Hlorovodonična kiselina se proizvodi u rastvorima od 38%. Više koncentracije su moguće, ali je isparavanje kiseline intenzivno što značajno povećava rizike pri skladištenju, pretovaru ili transportu.

Hlorvodonična kiselina se ranije dobijala delovanjem koncentrovane sumporne kiseline na čvrstu kuhinjsku so, na povišenoj temperaturi. Danas se ova kiselina dobija sagorevanjem Vodonika u Hloru. Hlorovodonična kiselina ima industrijski značaj u metalurgiji (za obradu i čišćenje metala), u hemijskoj industriji za dobijanje hlorida, u industriji boja, hrane, masnih kiselina, za dobijanje Aluminijum oksida, nekih plastičnih masa, za belenje i dr. Hlorovodonična kiselina je opasna materija razreda 8, UN broj 1789.

Hlorovodonična kiselina je jedno od dostupnih opasnih materija (u slabijim rastvorima), poznata kao sona kiselina. Kao takva, predstavlja čest izvor povreda. Danas uopšte, na svetskom nivou može se naći više od 25000 proizvoda koji mogu izazvati hemijske povrede, opekotine. Treba imati u vidu da je na hemijske povrede raspodeljeno sveg 3% opekotina, ali da one prouzrokuju preko 30% fatalnih ishoda od opekotina (Robson i Hayward, 1994).

Izabrani reprezentativni akcident se realizovao 5. Oktobra 2010. godine, Frankfurt, Nemačka (slika 2.71.). Do akcidenta je došlo zbog greške operatera. Prilikom pretovara, popune zaliha Hlorovodonične kiseline, operater je greškom spojio pogrešan tank sa sadržajem Natrijum Hipohlorata (NaClO). Operater je shvatio svoju grešku, prekinuo je pretakanje, ali kasno. Oslobođen je oblak hlora (procenjeno oko 200 kg). Operater je preminuo od posledica trovanja mesec dana posle akcidenta. Oko 50 ljudi je bilo povređeno. Radijus blokade je bio 200 metara.

U sanaciji akcidenta je učestvovalo 120 vatrogasaca (specijalizovana jedinica za hemijske akcidente).

Slika 2.72. Akcident Frankfurt, Nemačka, 5. Oktobar. 2010. Greška operatera pri pretovaru hlorovodonične kiseline, sanacija akcidenta

Ukupna procenjena godišnja proizvodnja Hlorovodonične kiseline je oko 20 miliona tona. Za 436 akcidenata koji su evidentirani u bazi FACTS u 35-to godišnjem periodu, rizik od akcidenta po proizvedenoj toni iznosi:

$$P(A)_{HCl} = \frac{n_{facts(HCl)}}{35 \cdot P} = \frac{436}{35 \cdot 20{,}000{,}000.00} = 0.6228 \cdot 10^{-6} \frac{akcident}{tona \cdot god}$$

3. UTVRĐIVANJE UTICAJA LOGISTIČKIH PODSISTEMA NA POSLEDICE PRI AKCIDENTIMA ZA IZABRANE OPASNE MATERIJE

3.1. Teorijske osnove

U dosadašnjoj analizi je ustanovljeno da se akcidenti s opasnim materijama mogu pojaviti u pet logističkih podsistema. Deklarisani logistički podsistemi su proizvodnja, skladištenje, pretovar, transport i upotreba/distribucija. Podaci iz baze FACTS su sistematizovani po logističkim podsistemima.

Kvalitativni nivo posledica deklarisan je u skladu s osnovnom doktrinom zaštite na radu, a to je zaštita života i zdravlja radnika. U slučaju kada se radni procesi realizuju u logističkim podsistemima javnih funkcija kao što su transport ili distribucija, sistemski ciljevi zaštite na radu se odnose i na treća lica. Akcidenti iz baze FACTS su takođe sistematizovani po broju nastradalih i povređenih radnika ili trećih lica. Za potrebe daljih istraživanja, kvantitatvni podaci o nastradilim i povređenim su sistematizovani na sledeći način:

- Ako realizovan akcident proizvoljne opasne materije nije izazvao posledice po život i/ili zdravlje radnika i/ili trećih lica u bilo kojem logističkom podsistemu, tj. akcident nije izazvao povrede ili smrtne ishode, akcident ima kvalitativnu deklaraciju „bez posledica“,
- Ako je realizovan akcident proizvoljne opasne materije izazvao povredu (ugrozio zdravlje), ali nije izazvao smrtne posledice (ugrozio život) barem jednog radnika i/ili trećeg lica u bilo kojem logističkom podsistemu, akcident ima kvalitativnu deklaraciju „s povređenima“,
- Ako je realizovan akcident proizvoljne opasne materije izazvao smrtnu posledicu (ugrozio život) barem jednog radnika i/ili trećeg lica u bilo kojem logističkom podsistemu, s irelevantnim brojem povređenih, akcident ima kvalitativnu deklaraciju „s fatalnim posledicama“.

Statistike broja akcidenata za 19 izabranih opasnih materija raspodeljene po logističkim podsistemima i kvalitativnim posledicama sistematizovane su: za eksplozive (slika 2.2), kiseonik (slika 2.3), metan (slika 2.4), poliuretane (slika 2.5), motorni benzin (slika 2.6), fluorovodoničnu kiselinu (slika 2.7), metanol (slika 2.8), tečni naftni gas (slika 2.9), vodonik (slika 2.10), prirodni gas (slika 2.11), etanol (slika 2.12), dizel gorivo (slika 2.13), amonijak dehidriran (slika 2.14), amonijak (slika 2.15), sumpornu kiselinu (slika 2.16), zemno ulje (slika 2.17), hlor (slika 2.18), azotnu kiselinu (slika 2.19) i hlorovodoničnu kiselinu (slika 2.20). Podaci iz navedenih slika predstavljaju aposteriori verovatnoće po logističkim podsistemima i kvalitativnim posledicama. Za pet logističkih podsistema i tri kvalitativna nivoa posledica, promenljiva n_{ij} ($i \in [1, 5]$; $j \in [1, 3]$) uopštena je za svaku opasnu materiju pod uslovima navedenim u tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Raspodele akcidenata po logističkim podsistemima i po kvalitetu posledica za izabranu opasnu materiju

Broj akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje bez posledica: $\mathbf{n_{11}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje s povređenima: $\mathbf{n_{12}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje s fatalnim posledicama: $\mathbf{n_{13}}$
Broj akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja bez posledica: $\mathbf{n_{21}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja s povređenima: $\mathbf{n_{22}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja s fatalnim posledicama: $\mathbf{n_{23}}$
Broj akcidenata u logističkom podsistemu pretovara bez posledica: $\mathbf{n_{31}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu pretovara s povređenima: $\mathbf{n_{32}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu pretovara s fatalnim posledicama: $\mathbf{n_{33}}$
Broj akcidenata u logističkom podsistemu transporta bez posledica: $\mathbf{n_{41}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu transporta s povređenima: $\mathbf{n_{42}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu transporta s fatalnim posledicama: $\mathbf{n_{43}}$
Broj akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije bez posledica: $\mathbf{n_{51}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije s povređenima: $\mathbf{n_{52}}$	Broj akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije s fatalnim posledicama: $\mathbf{n_{53}}$

Za ustanovljenih N akcidenata izabrane opasne materije mora biti ispunjen uslov (3.1):

$$N = \sum_{i=1}^{5} \sum_{j=1}^{3} n_{ij} \qquad \text{(3.1)}$$

Gde su za $j \in [1, 3]$ a na osnovu podataka iz tabele 3.1. u tabeli 3.2. dati načini proračuna broja akcidenata u logističkim podsistemima:

Tabela 3.2. Proračun broja akcidenata u logističkim podsistemima

$n_{1j}=n_{11}+ n_{12}+ n_{13}$	– broj akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje
$n_{2j}=n_{21}+ n_{22}+ n_{23}$	– broj akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja
$n_{3j}=n_{31}+ n_{32}+ n_{33}$	– broj akcidenata u logističkom podsistemu pretovara
$n_{4j}=n_{41}+ n_{42}+ n_{43}$	– broj akcidenata u logističkom podsistemu transporta
$n_{5j}=n_{51}+ n_{52}+ n_{53}$	– broj akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije

Ako sa „A“ označimo događaj akcidenta za određenu opasnu materiju, sa P(A) verovatnoću pojave akcidenta a sa „H_i“ hipotezu da se izabrana opasna materija nalazi u nekom od logističkih podsistema, i to:

- izabrana opasna materija se nalazi u podsistemu proizvodnje, H_1
- izabrana opasna materija se nalazi u podsistemu skladištenja, H_2

- izabrana opasna materija se nalazi u podsistemu pretovara, H_3
- izabrana opasna materija se nalazi u podsistemu transporta, H_4
- izabrana opasna materija se nalazi u podsistemu upotrebe/distribucije H_5

Pri čemu svaka hipoteza ima svoju verovatnoću $P(H_i)$:

- verovatnoća da se opasna materija nalazi u podsistemu proizvodnje, $P(H_1)$
- verovatnoća da se opasna materija nalazi u podsistemu skladištenja, $P(H_2)$
- verovatnoća da se opasna materija nalazi u podsistemu pretovara, $P(H_3)$
- verovatnoća da se opasna materija nalazi u podsistemu transporta, $P(H_4)$
- verovatnoća da se opasna materija nalazi u podsistemu upotrebe/distribucije $P(H_5)$

Od raspodele akcidenata po logističkim podsistemima „aposteriori“ (akcident je realizovan) može se formirati jednodimenzionalna uslovna diskretna slučajna promenljiva. Diskretnu slučajnu raspodelu uticaja logističkih podsistema možemo označiti sa **X**, a ona ima pet diskretnih stanja (3.2):

$$X_i = {H_i}/{A} = \begin{Bmatrix} X_1 = {H_1}/{A} & X_2 = {H_2}/{A} & X_3 = {H_3}/{A} & X_4 = {H_4}/{A} & X_5 = {H_5}/{A} \\ P(H_1/A) & P(H_2/A) & P(H_3/A) & P(H_4/A) & P(H_5/A) \end{Bmatrix} \quad \ldots\ldots (3.2)$$

Pri čemu su uslovne verovatnoće raspodele akcidenata po logističkim podsistemima jednake:

- $P(H_1/A) = \frac{n_{1j}}{N}, \quad j \in [1,3]$ – za logistički podsistem proizvodnje,
- $P(H_2/A) = \frac{n_{2j}}{N}, \quad j \in [1,3]$ – za logistički podsistem skladištenja,
- $P(H_3/A) = \frac{n_{3j}}{N}, \quad j \in [1,3]$ – za logistički podsistem pretovara,
- $P(H_4/A) = \frac{n_{4j}}{N}, \quad j \in [1,3]$ – za logistički podsistem transporta,
- $P(H_5/A) = \frac{n_{5j}}{N}, \quad j \in [1,3]$ – za logistički podsistem upotrebe/distribucije.

Treba uočiti da nama nije poznata „apriori“ verovatnoća realizacije akcidenta P(A), kao i verovatnoća hipoteza $P(H_i)$ $i \in [1,5]$, ali imamo statističke podatke iz kojih nalazimo uslovne verovatnoće $P(H_i/A)$ $i \in [1,5]$.

Ako nadalje usvojimo predloženu oznaku „A“ za akcident za određenu opasnu materiju, sa P(A) verovatnoću pojave akcidenta i sa “C_i” hipotezu da je izabrana opasna materija izazvala jedan od deklarisanih kvalitativnih nivoa, tada je:

- Ishod bez posledica po život i zdravlje radnika i/ili trećih lica u svim logističkim podsistemima, C_1

- Ishod s posledicma po zdravlje radnika i/ili trećih lica u svim logističkim podsistemima, C_2
- Ishod s posledicama po život radnika i/ili trećih lica u svim logističkim podsistemima, C_3

Pri čemu svaka hipoteza ima svoju verovatnoću $P(C_i)$:

- verovatnoća da je ishod bez posledica po život ili zdravlje radnika i/ili trećih lica u svim logističkim podsistemima, $P(C_1)$
- verovatnoća da je ishod s posledicama po zdravlje najmanje jednog radnika i/ili trećeg lica u svim logističkim podsistemima, $P(C_2)$
- verovatnoća da je ishod s posledicama po život najmanje jednog radnika i/ili trećeg lica u svim logističkim podsistemima, $P(C_3)$

U skladu s kvalitativnim nivoom posledica, deklarišimo diskretnu slučajnu promenljivu **Y**. U skladu s osnovnom doktrinom zaštite na radu, usvojimo i sledeće hipoteze za uslovne događaje:

- Realizovan akcident proizvoljne opasne materije nije izazvao posledice po život i zdravlje radnika i/ili trećih lica u svim logističkim podsistemima, tj. akcident nije izazvao povrede ili smrtne ishode, C_1/A
- Realizovan akcident proizvoljne opasne materije je izazvao povredu (ugrozio zdravlje), ali nije izazvao smrtne posledice (ugrozio život) barem jednog radnika i/ili trećeg lica u svim logističkim podsistemima, C_2/A
- Realizovan akcident proizvoljne opasne materije je izazvao smrtnu posledicu (ugrozio život) barem jednog radnika i/ili trećeg lica u bilo kojem logističkom podsistemu, u svim logističkim podsistemima, C_3/A

Gde su za $i \in [1, 5]$:

- $n_{i1}=n_{11}+ n_{21}+ n_{31}+ n_{41}+ n_{51}$ – broj akcidenata bez posledica po život i zdravlje radnika i/ili trećih lica u svim logističkim podsistemima,
- $n_{i2}=n_{21}+ n_{22}+ n_{32}+ n_{42}+ n_{52}$ – broj akcidenata s povredama minimum jednog radnika i/ili trećeg lica u svim logističkim podsistemima,
- $n_{i13}=n_{31}+ n_{23}+ n_{33}+ n_{43}+ n_{53}$ – broj akcidenata s poginulima minimum jednog radnika i/ili trećeg lica u svim logističkim podsistemima.

Ove uslovne verovatnoće su takođe „aposteriori“ verovatnoće kvalitativne raspodele posledica – konsekvenci, s tri diskretna stanja (3.3):

$$Y_j = {C_j}/{A} = \begin{Bmatrix} {C_1}/{A} & {C_2}/{A} & {C_3}/{A} \\ P(C_1/A) & P(C_2/A) & P(C_3/A) \end{Bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

Pri čemu su uslovne verovatnoće raspodele posledica jednake:

- $P(C_1/A) = \frac{n_{i1}}{N}, \quad i \in [1,5]$ – za akcidente bez posledica,
- $P(C_2/A) = \frac{n_{i2}}{N}, \quad j \in [1,5]$ – za akcidente s minimum jednim povređenim,
- $P(C_3/A) = \frac{n_{i3}}{N}, \quad j \in [1,5]$ – za akcidente s minimum jednim poginulim.

U skladu sa (3.2.i 3.3), „aposteriori“ verovatnoće jednodimenzionalne diskretne slučajne promenljive X i Y zadovoljavaju osnovni normirajući uslov slučajnih promenljivih (3.4):

$$\sum_{i=1}^{5} P(H_i/A) = \sum_{i=1}^{5} P(X_i) = 1, \qquad \sum_{j=1}^{3} P(C_j/A) = \sum_{j=1}^{3} P(Y_j) = 1, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$

Uslovne verovatnoće slučajnih promenljivih X_i i Y_j, predstavljaju verovatnoću kvalitativne posledice akcidenta u nekom logističkom podsistemu. U skladu s osnovnim teorijskim postulatima teorije verovatnoće, kvalitativne raspodele posledica uslovljene logističkim podsistemom označavaju se s (3.5):

$$P(Y_j/X_i) = \frac{P(X_i Y_j)}{P(X_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.5)$$

Ako logistički sistem nema uticaj na kvalitativnu raspodelu posledica akcidenta, onda je uslovna verovatnoća jednaka (3.6):

$$P(Y_j/X_i) = P(Y_j) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.6)$$

Pa se verovatnoća proizvoda slučajnih promenljivih X_i i Y_j svodi na proizvod verovatnoća (3.7):

$$P(Y_j/X_i) = \frac{P(X_i Y_j)}{P(X_i)} = P(Y_j) \Leftrightarrow P(Y_j/X_i) = \frac{P(Y_j)\cdot P(X_i)}{P(X_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.7)$$

Tj. proizvod verovatnoća je jednak verovatnoći proizvoda slučajnih promenljivih X_i i Y_j, (3.8):

$$P(Y_jX_i) = P(Y_j) \cdot P(X_i) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.8)$$

Ako postoje razlike između verovatnoće proizvoda i proizvoda verovatnoća slučajnih promenljivih X_i i Y_j, postoji uticaj koji se treba dalje istraživati, tj. verovatnoća kvalitativne posledice od akcidenta za izabranu opasnu materiju ***je uslovljena*** karakteristikama logističkog podsistema u kojem se akcident dogodio (3.9)

$$P(Y_jX_i) \neq P(Y_j) \cdot P(X_i) \Leftrightarrow P(Y_j / X_i) = \frac{P(X_i Y_j)}{P(X_i)} \neq P(Y_j) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.9)$$

3.2. Protokol proračuna i izabrani statistički test

Za istraživanje uslovljenosti kvalitativnih posledica akcidenata od logističkog podsistema u kojem se akcident realizovao po uslovu definisanom po (3.9) prvo je potrebno ustanoviti proizvode uslovnih verovatnoća aposteriori jednodimenzionalnih slučajnih promenljivih raspodele akcidenata po logističkim podsistemima. Ova raspodela se dobija prostim proizvodom jednodimenzionalnih slučajnih promenljivih (3.2) i (3.3), tj. $P(X_i)P(Y_j)$, $i \in [1, 5] \wedge j \in [1, 3]$ (tabela 3.3):

Tabela 3.3. Proizvodi verovatnoća aposteriori jednodimenzionalnih slučajnih promenljivih raspodele akcidenata po logističkim podsistemima – X i raspodele kvalitativnih posledica od akcidenata Y, $P(X_i)P(Y_j)$

	$P(Y_1)$	$P(Y_2)$	$P(Y_3)$
$P(X_1)$	$P(H_1/A)P(C_1/A)$	$P(H_1/A)P(C_2/A)$	$P(H_1/A)P(C_3/A)$
$P(X_2)$	$P(H_2/A)P(C_1/A)$	$P(H_2/A)P(C_2/A)$	$P(H_2/A)P(C_3/A)$
$P(X_3)$	$P(H_3/A)P(C_1/A)$	$P(H_3/A)P(C_2/A)$	$P(H_3/A)P(C_3/A)$
$P(X_4)$	$P(H_4/A)P(C_1/A)$	$P(H_4/A)P(C_2/A)$	$P(H_4/A)P(C_3/A)$
$P(X_5)$	$P(H_5/A)P(C_1/A)$	$P(H_5/A)P(C_2/A)$	$P(H_5/A)P(C_3/A)$

Drugo, potrebno je ustanoviti verovatnoće proizvoda slučajnih promenljivih raspodele akcidenata po logističkim podsistemima – X i raspodele kvalitativnih posledica od akcidenata Y. Ova raspodela predstavlja dvodimenzionalnu slučajnu raspodelu $P(X_iY_j)$, $i \in [1, 5] \wedge j \in [1, 3]$ koja se dobija iz statističkih evidencija akcidenata za odabranu opasnu materiju (tabela 3.4):

Tabela 3.4. Verovatnoće proizvoda aposteriori dvodimenzionalne slučajne promenljive raspodele akcidenata po logističkim podsistemima – X i raspodele kvalitativnih posledica od akcidenata Y - $P(X_i)P(Y_j)$

N	**Y_1**	**Y_2**	**Y_3**			
X_1	n_{11}	n_{21}	n_{31}	$P(X_1Y_1)=\frac{n_{11}}{N}$	$P(X_1Y_2)=\frac{n_{12}}{N}$	$P(X_1Y_3)=\frac{n_{13}}{N}$
X_2	n_{12}	n_{22}	n_{32}	$P(X_2Y_1)=\frac{n_{21}}{N}$	$P(X_2Y_2)=\frac{n_{22}}{N}$	$P(X_2Y_3)=\frac{n_{23}}{N}$
X_3	n_{13}	n_{23}	n_{33}	$P(X_3Y_1)=\frac{n_{31}}{N}$	$P(X_3Y_2)=\frac{n_{32}}{N}$	$P(X_3Y_3)=\frac{n_{33}}{N}$
X_4	n_{14}	n_{24}	n_{34}	$P(X_4Y_1)=\frac{n_{41}}{N}$	$P(X_4Y_2)=\frac{n_{42}}{N}$	$P(X_4Y_3)=\frac{n_{43}}{N}$
X_5	n_{15}	n_{25}	n_{35}	$P(X_5Y_1)=\frac{n_{51}}{N}$	$P(X_5Y_2)=\frac{n_{52}}{N}$	$P(X_5Y_3)=\frac{n_{53}}{N}$

Ovako dobijene uslovne podatke iz tabele 3.2. i 3.3. možemo komparirati po raznim osnovama. Kako je osnovna hipoteza zasnovana na uticaju logističkih podsistema na kvalitativne ishode akcidenata, obavezuje nas uslovljenost ishoda posledica logističkim sistemom u kojem se akcident dogodio. U opštem obliku to je uslovna verovatnoća data u (3.5). Treba uočiti da se akcident „A“ implicitno nalazi u obrascu, i da je uslovna verovatnoća (3.5) „uslovna verovatnoća od količnika uslovne verovatnoće“ (3.10)! Naravno, uslov (3.10) egzistira ako logistički podsistem „i“ ima uticaj na kvalitativan ishod „j“:

$$P\left(Y_j/X_i\right)=\frac{P(Y_jX_i)}{P(X_i)}=\frac{n_{ij}}{N\cdot P\left(H_i/A\right)}=\frac{n_{ij}}{N\left(\frac{n_{i1}+n_{i2}+n_{i3}}{N}\right)}=\frac{n_{ij}}{n_{i1}+n_{i2}+n_{i3}} \quad \ldots\ldots\ldots (3.10)$$

Međutim, ako uticaj logističkog podsistema ne postoji, tada je:

$$P\left(Y_j/X_i\right)=\frac{P(Y_j)P(X_i)}{P(X_i)}=P(Y_j)=P\left(C_j/A\right)=\frac{n_{1j}+n_{2j}+n_{3j}+n_{4j}+n_{5j}}{N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.11)$$

Ako sa p_a označimo uticaj logističkog sistema na kvalitativan ishod akcidenta (3.12):

$$p_a=P(Y_j/X_i)=\frac{P(Y_jX_i)}{P(X_i)}=\frac{n_{ij}}{n_{i1}+n_{i2}+n_{i3}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.12)$$

A sa p_b nezavisnost ishoda akcidenta od logističkog sistema (3.13):

$$p_b = \frac{P(Y_j)P(X_i)}{P(X_i)} = P(Y_j) = \frac{n_{1j} + n_{2j} + n_{3j} + n_{4j} + n_{5j}}{N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.13)$$

tada testiranje statističke hipoteze $H(p_a=p_b)$ po nekom od osnova (j=1 za ishode bez posledica od akcidenta, j=2 za ishode s povređenim u akcidentu i j=3 za ishode s fatalnim posledicama, tj. poginulim u akcidentu u obrascima 3.12. i 3.13) ističe uticaj logističkog podsistema na sledeći način:

- Ako se hipoteza $H(p_a=p_b)$ potvrdi, tada logistički podsistem nema uticaj na kvalitativan ishod akcidenta,
- Ako se hipoteza $H(p_a=p_b)$ odbaci, usvaja se alternativna hipoteza $H(p_a \neq p_b)$, a logistički sistem u kojem se realizovao akcident ima uticaj na ishod.

U skladu s osnovnim postulatima verifikacije statističkih hipoteza izvršava se s unapred definisanim pragom značajnosti, $p=p_0$.

Do rezultata se može doći testiranjem hipoteza u vezi s proporcijom osnovnog skupa na osnovu uzorka, tj. hipotezi da je verovatnoća p_a jednaka unapred zadatoj vrednosti p_b.

Ako je uzorak dovoljno veliki (usvojeno da je broj elemenata u uzorku veći ili jednak 24, a po nekim autorima veći ili jednak 30), i ako i-tom elementu uzorka pridružimo slučajnu promenljivu Z_i za vrednosti „p“ takve da je $0 \leq p \leq 1$ (3.14):

$$Z_i = \begin{Bmatrix} 0 & 1 \\ 1-p & p \end{Bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.14)$$

Tada slučajna promenljiva za uzorak od N elemenata (usvojimo oznaku $q=1-p$) (3.15):

$$Z = \sum_{k=1}^{N} Z_k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.15)$$

Ima normalnu raspodelu (saglasno teoremi Muavre-Laplasa) (3.16):

$$Z \rightarrow N(p, \sqrt{\frac{pq}{N}}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.16)$$

Tada i slučajna promenljiva p ima normalnu raspodelu.

Ako usvojimo hipotezu da ne postoji uticaj logističkog podsistema na kvalitativan ishod akcidenta $H(p_a=p_b)$, tada standardizovana slučajna promenljiva (3.17)

$$t = \frac{p_a - p_b}{\sqrt{\frac{p_a(1-p_a)}{N}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.17)$$

ima normalnu raspodelu N(0, 1), pa se verifikacija hipoteze vrši u skladu s vrednostima tabele normalne raspodele, za definisani prag značajnosti. Pri tome, testiranje hipoteze ipak ima specifičnosti u odnosu na standardan test. Naime, razlika (p_a–p_b) može biti pozitivna ili negativna. Istovremeno razlike mogu biti ispod praga značajnosti (slučajne) ili iznad praga značajnosti signifikantne.

Zbog toga imamo tri mogućnosti osnovne i alternativne hipoteze.

- **I** $H(p_a=p_b)$, potvrđuje se osnovna hipoteza, logistički podsistem nema signifikantan uticaj na kvalitativan ishod posledica od akcidenta.
- **II** Obacuje se osnovna hipoteza $H(p_a=p_b)$, usvaja se alternativna hipoteza $H(p_a \neq p_b)$, a logistički podsistem ima signifikantan uticaj na kvalitativan ishod posledica od akcidenta, i to:
  - **II_a:** Ako je $p_a>p_b$, tada je ishod od posledica signifikantno veći od zadate vrednosti (t vrednost ima predznak „+“),
  - **II_b** Ako je $p_a<p_b$, tada je ishod od posledica signifikantno manji od zadate vrednosti, (t vrednost ima predznak „–“).

Hipoteza $H(p_a=p_b)$ se može uopštiti na logistički podsistem indeksa „i“, $i \in [1, 5]$, pa osnovna hipoteza se multiplicira $H(p_{ai}=p_{bi})$ za $i \in [1, 5]$.

Svakako da je pri proračunima rizika akcidenata u logističkim podsistemima proizvodnje, skladištenju, pretovaru, transportu i upotrebi/distribuciji opasnih materija, prioritetna doktrina usmerena na zaštitu života radnika i/ili trećih lica, u daljim istraživanjima uticaja logističkih podsistema za referentnu verovatnoću biće usvojena verovatnoća ishoda s fatalnim posledicama $p=P(Y_3)$, pa je p_a po (3.12) sada konkretno (3.18), a p_b po (3.13) sada konkretno (3.19) :

$$p_a = P(Y_3 / X_i) = \frac{P(Y_3 X_i)}{P(X_i)} = \frac{n_{i3}}{n_{i1} + n_{i2} + n_{i3}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.18)$$

$$p_b = \frac{P(Y_3)P(X_i)}{P(X_i)} = P(Y_3) = \frac{n_{13} + n_{23} + n_{33} + n_{43} + n_{53}}{N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.19)$$

Testiranje za sve opasne materije se odnosi na uticaj logističkog podsistema na ishod od fatalnih posledica. Uslovi testiranja su:

- **I** $H(p_{ai}=p_{bi})$, potvrđuje se osnovna hipoteza, logistički podsistem „i“ nema signifikantan uticaj na kvalitativan ishod od fatalnih posledica akcidenta
- **II** Odbacuje se osnovna hipoteza $H(p_{ai}=p_{bi})$ za logistički podsistem „i“, usvaja se

alternativna hipoteza $H(p_{ai} \neq p_{bi})$, a logistički podsistem „i“ ima signifikantan uticaj na kvalitativan ishod od fatalnih posledica akcidenta, i to:

II_a: Ako je $p_a < p_b$, tada je ishod od posledica manji od zadate vrednosti, (t vrednost ima predznak „–“), a logistički podsistem „i“ ima mali rizik od fatalnih posledica u poređenju s komplementarnim logističkim sistemima isključivo za odabranu opasnu materiju,

II_b Ako je $p_a > p_b$, tada je ishod od posledica signifikantno veći od zadate vrednosti (t vrednost ima predznak „+“), a logistički podsistem „i“ ima veliki rizik od fatalnih posledica u poređenju s komplementarnim logističkim sistemima isključivo za odabranu opasnu materiju.

Pragovi značajnosti odbacivanja osnovne hipoteze $H(p_{ai}=p_{bi})$ i prihvatanje alternativne hipoteze $H(p_{ai} \neq p_{bi})$ o signifikantnom uticaju logističkog podsistema „i“ na fatalne ishode pri akcidentu, su određeni normalnom N(0, 1) u skladu sa (3.17).

U odnosu na semantiku imenice „rizik“, tj. značenja u jeziku, „rizik“ prenosi značenje koje se odnosi na izloženost nezgodi (nesreći) u konkretnom slučaju od akcidenta opasnih materija do mogućnosti pogibelji – fatalnog ishoda. Reč „rizik“ je misaona imenica i predstavlja apstraktni pojam. „Rizik“ je analogan aksiomatskom prostoru verovatnoće, može biti sveden na infimum ili potpuno odsustvo posledica – potpuno odsustvo uzroka akcidenta, a supremum „rizika“ se odnosi na maksimalnu izvesnost od fatalnih ishoda akcidenta. Semantika „rizika“ nema komplement i ne postoji reč suprotnog značenja. Može se gradirati i postaviti analogno intervalnim ocenama u statistici.

„Rizik“ od fatalnih ishoda pri akcidentima s opasnim materijama je egzistencijalan. Svaki logistički sistem ima svojstveni rizik od fatalnih ishoda pri akcidentu. Ovaj rizik je formiran od pojedinačnih rizika od akcidenata u logističkim podsistemima. Rizik svakog logističkog podsistema može biti veći ili manji od rizika u logističkom sistemu. Ova razlika može biti slučajna ili sistemska. Ako je rizik logističkog podsistema saglasan svojstvenom riziku logističkog sistema, tada karakteristike logističkog podsistema nemaju karakterističan uticaj na vrednost rizika. Međutim, u suprotnom, uticaj logističkog podsistema je signifikantan. Predlaže se sledeća gradacija rizika u odnosu na izabrani statistički test:

I Ako je $\mathbf{(-1.2816<t_i<+1.2816)}$ tada se potvrđuje osnovna hipoteza $H(p_{ai}=p_{bi})$, logistički podsistem „i“ nema signifikantan uticaj na kvalitativan ishod, tj. ishod od fatalnih posledica od akcidenta za izabranu opasnu materiju.

II Ako je $\mathbf{(-\infty<t_i<-1.2816)}$ ili $\mathbf{(+1.2816<t_i<+\infty)}$ obacuje se osnovna hipoteza $H(p_{ai}=p_{bi})$ za logistički podsistem „i“, usvaja se alternativna hipoteza $H(p_{ai} \neq p_{bi})$, a logistički podsistem „i“ ima signifikantan uticaj na kvalitativan ishod, tj. ishod od fatalnih posledica od akcidenta za izabranu opasnu materiju, i to:

II_a: Ako je za logistički podsistem „i“ $\mathbf{(-\infty<t_i<-2.3264)}$, tada je $(p_{ai} << p_{bi})$, tj. rizik fatalnih posledica u akcidentu je jednak $\mathbf{P(-\infty<t_i<-2.3264)=0.01}$, i s pragom

značajnosti **p=0,99=(1–0.01)** možemo signifikantno potvrditi ***zanemarljiv rizik*** logističkog podsistema „i“ na ishode akcidenata s fatalnim posledicama za izabranu opasnu materiju.

Ako je za logistički podsistem „i“ **($-2.3264<t_i<-1.6449$)**, tada je ($p_{ai}<p_{bi}$), tj. rizik od fatalnih posledica u akcidentu se kreće u intervalu od 0.01 do 0.05 jer je **$P(-\infty<t_i<-1.6449)=0.05$**, i s pragom značajnosti **p=0,95=(1–0.05)** možemo signifikantno potvrditi ***izuzetno nizak rizik*** logističkog podsistema „i“ na ishode akcidenata s fatalnim posledicama za izabranu opasnu materiju.

Ako je za logistički podsistem „i“ **($-1.6449<t_i<-1.2816$)**, tada je($p_{ai}<p_{bi}$), tj. rizik od fatalnih posledica u akcidentu se kreće u intervalu od 0.05 do 0.10 jer je **$P(-\infty<t_i<-1.2888)=0.105$**, i s pragom značajnosti **p=0,90=(1–0.10)** možemo signifikantno potvrditi ***nizak rizik*** logističkog podsistema „i“ na ishode akcidenata s fatalnim posledicama za izabranu opasnu materiju.

II_b Ako je za logistički podsistem „i“ **($+1.2816<t_i<+1.6449$)**, tada je ($p_{ai}>p_{bi}$), tj. rizik fatalnih posledica u akcidentu je jednak **$P(+1.2888<t_i<+\infty)=0.90$**, i s pragom značajnosti većim od **p=0,90** možemo signifikantno potvrditi ***visok rizik*** u logističkom podsistemu „i“ na ishode akcidenata s fatalnim posledicama za izabranu opasnu materiju.

Ako je za logistički podsistem „i“ **($+1.6449<t_i<+2.3264$)**, tada je ($p_{ai}>p_{bi}$), tj. rizik fatalnih posledica u akcidentu je jednak **$P(+1.6449<t_i<+\infty)=0.95$**, i s pragom značajnosti većim od **p=0,95** možemo signifikantno potvrditi ***izuzetano visok rizik*** u logističkom podsistemu „i“ na ishode akcidenata s fatalnim posledicama za izabranu opasnu materiju.

Ako je za logistički podsistem „i“ **($+2.3264<t_i<+\infty$)**, tada je ($p_{ai}>>p_{bi}$), tj. rizik fatalnih posledica u akcidentu je jednak **$P(+2.3264<t_i<+\infty)=0.99$**, i s pragom značajnosti većim od **p=0,99** možemo signifikantno potvrditi ***kritičan rizik*** u logističkom podsistemu „i“ na ishode akcidenata s fatalnim posledicama za izabranu opasnu materiju.

Za reprezentativni uzorak u logističkim podsistemima usvojen je minimalan broj od $N_i=12$ akcidenta.

3.3. Proračuni za izabrane opasne materije

3.3.1. Proračun za opasnu materiju „eksplozivi“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „eksplozivi“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 51, 26, 3, 29 i 22 akcidenta.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{51}{131} = 0{,}3893 & \frac{26}{131} = 0{,}1985 & \frac{3}{131} = 0{,}0229 & \frac{29}{131} = 0{,}2214 & \frac{22}{131} = 0{,}1679 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „eksplozivi“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 23, 24 i 84 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{23}{131} = 0{,}1756 & \frac{24}{131} = 0{,}1832 & \frac{84}{131} = 0{,}6412 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.5. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „eksploziv“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.5– Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju– „eksploziv“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.068353	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.071325	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.249636
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.034846	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.036362	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.127265
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.004021	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.004196	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.014684
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.038867	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.040557	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.141950
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.029485	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.030767	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.107686

U tabeli 3.6. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „eksploziv“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.6 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „eksplozivi“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	3	8	40	$P(X_1Y_1)=$ 0.0229	$P(X_1Y_2)=$ 0.0611	$P(X_1Y_3)=$ 0.3053
X_2	5	3	18	$P(X_2Y_1)=$ 0.0382	$P(X_2Y_2)=$ 0.0229	$P(X_2Y_3)=$ 0.1374
X_3	0	0	3	$P(X_3Y_1)=$ 0.0000	$P(X_3Y_2)=$ 0.0000	$P(X_3Y_3)=$ 0.0229
X_4	13	4	12	$P(X_4Y_1)=$ 0.0992	$P(X_4Y_2)=$ 0.0305	$P(X_4Y_3)=$ 0.0916
X_5	2	9	11	$P(X_5Y_1)=$ 0.0153	$P(X_5Y_2)=$ 0.0687	$P(X_5Y_3)=$ 0.0840
Σ	23	24	84			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „eksplozivi“ date su u tabeli 3.7.

Tabela 3.7. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „eksplozivi“

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
51	0.784314	0.215686	0.057593	0.641221	+0.1431	**+2.4845**
26	0.692308	0.307692	0.090515	0.641221	+0.0511	+0.5644
3	1,00000	0,000000	~	0.641221	+0.3588	~
29	0.413793	0.586207	0.091457	0.641221	–0.2274	**–2.4867**
22	0.500000	0.500000	0.106600	0.641221	–0.1412	**–1.3248**

Na osnovu uzorka od 51 akcidenta u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+2.4845 koja je veća od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „eksplozivi“. Kako opasna materija „eksplozivi“ ima najveći rizik od fatalnih ishoda po akcidentu od p=0.6412, tj. 64,12% akcidenata ima fatalan ishod, na osnovu rezultata iz tabele 3.7. zaključujemo da je proizvodnja opasne materije „eksplozivi“ najrizičniji logistički podsistem u ukupnom sistemu svih odabranih opasnih materija.

Na osnovu uzorka od 26 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „eksplozivi“, vrednost t_2=+0.5644∈[–1.2816, +1.2816].

Zbog malog broja akcidenata N_3=3, logistički podsistem pretovara opasne materije „eksplozivi“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 29 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost t_4=–2.4867 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „eksplozivi“.

Na osnovu uzorka od 22 akcidenta s fatalnim ishodom u logističkom podsistemu distribucije/upotrebe, za ustanovljenu vrednost t_x=–1.3248 koja je veća od od $t_{0.05}$=–1.6449 i manja od $t_{0.10}$=–1.2888, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***nizak rizik*** od uticaja logističkog podsistema distribucije/upotrebe na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „eksplozivi“.

3.3.2. Proračun za opasnu materiju „kiseonik“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „kiseonik“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 59, 28, 8, 41 i 134 akcidenta.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{59}{270} = 0{,}2185 & \frac{28}{270} = 0{,}1037 & \frac{8}{270} = 0{,}0296 & \frac{41}{270} = 0{,}1519 & \frac{134}{270} = 0{,}4963 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „kiseonik“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 99, 75 i 96 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{99}{270} = 0{,}3667 & \frac{75}{270} = 0{,}2778 & \frac{96}{270} = 0{,}3556 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.8. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „kiseonik“ (po modelu tabele 3.3.).

Tabela 3.8 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „kiseonik“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)$= 0.080123	$P(X_1)\cdot P(Y_2)$= 0.060700	$P(X_1)\cdot P(Y_3)$= 0.077695
$P(X_2)\cdot P(Y_1)$= 0.038025	$P(X_2)\cdot P(Y_2)$= 0.028807	$P(X_2)\cdot P(Y_3)$= 0.036872
$P(X_3)\cdot P(Y_1)$= 0.010864	$P(X_3)\cdot P(Y_2)$= 0.008230	$P(X_3)\cdot P(Y_3)$= 0.010535
$P(X_4)\cdot P(Y_1)$= 0.055679	$P(X_4)\cdot P(Y_2)$= 0.042181	$P(X_4)\cdot P(Y_3)$= 0.053992
$P(X_5)\cdot P(Y_1)$= 0.181975	$P(X_5)\cdot P(Y_2)$= 0.137860	$P(X_5)\cdot P(Y_3)$= 0.176461

U tabeli 3.9. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „kiseonik“ (po modelu tabele 3.4)

Tabela 3.9 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „kiseonik“

	Y_1	Y_2	Y_3						
X_1	27	16	16	$P(X_1Y_1)=$	0.1000	$P(X_1Y_2)=$	0.0592	$P(X_1Y_3)=$	0.0592
X_2	17	6	5	$P(X_2Y_1)=$	0.0629	$P(X_2Y_2)=$	0.0222	$P(X_2Y_3)=$	0.0185
X_3	1	2	5	$P(X_3Y_1)=$	0.0037	$P(X_3Y_2)=$	0.0074	$P(X_3Y_3)=$	0.0185
X_4	15	12	14	$P(X_4Y_1)=$	0.0555	$P(X_4Y_2)=$	0.0444	$P(X_4Y_3)=$	0.0518
X_5	39	39	56	$P(X_5Y_1)=$	0.1444	$P(X_5Y_2)=$	0.1444	$P(X_5Y_3)=$	0.2074
Σ	99	75	96						

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „kiseonik“ date su u tabeli 3.10.

Tabela 3.10. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „kiseonik“

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
59	0.271186	0.728814	0.057878	0.355556	–0.0844	**–1.4577**
28	0.178571	0.821429	0.072378	0.355556	–0.1770	**–2.4452**
8	0.625000	0.375000	0.171163	0.355556	+0.2694	+1.5742
41	0.341463	0.658537	0.074057	0.355556	–0.0141	–0.1903
134	0.417910	0.582090	0.042607	0.355556	+0.0624	+1.4635

Na osnovu uzorka od 59 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=–1.4577 koja je veća od od $t_{0.05}$=–1.6449 i manja od $t_{0.10}$=–1.2888, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***nizak rizik*** od uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „kiseonik“.
Na osnovu uzorka od 28 akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja, za ustanovljenu vrednost t_2=–2.4452 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema skladištenje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „kiseonik“.
Zbog malog broja akcidenata N_3=8, logistički podsistem pretovara opasne materije „kiseonik“ nema reprezentativnu analizu.
Na osnovu uzorka od 41 akcidenta, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „kiseonik“, vrednost t_4=–0.1903∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 134 akcidenta u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=+1.4635 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „kiseonik“. Kako opasna materija „kiseonik“ posle „eksploziva“ ima drugi po vrednosti rizik od fatalnih ishoda po akcidentu od p=0.3556, tj. 35,56% akcidenata ima fatalan ishod, na osnovu rezultata iz tabele 3.10. zaključujemo da je upotreba/distribucija opasne materije „kiseonik“ najrizičniji logistički podsistem u ukupnom sistemu svih odabranih opasnih materija.

3.3.3. Proračun za opasnu materiju „metan“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „metan“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 34, 13, 0, 13 i 54 akcidenta.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{34}{114} = 0{,}2982 & \frac{13}{114} = 0{,}1140 & \frac{0}{114} = 0{,}0000 & \frac{13}{114} = 0{,}1140 & \frac{54}{114} = 0{,}4738 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „metan“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 44, 30 i 40 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{44}{114} = 0{,}3860 & \frac{30}{114} = 0{,}2632 & \frac{40}{114} = 0{,}3508 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.11. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „metan“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.11– Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „metan“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.115112	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.078486	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.104648
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.044014	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.030009	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.040012
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.000000	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.000000	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.000000
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.044014	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.030009	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.040012
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.182825	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.124654	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.166205

U tabeli 3.12. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju – „metan“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.12 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „metan“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	23	6	5	$P(X_1Y_1)=$ 0.2018	$P(X_1Y_2)=$ 0.0526	$P(X_1Y_3)=$ 0.0439
X_2	6	2	5	$P(X_2Y_1)=$ 0.0526	$P(X_2Y_2)=$ 0.0175	$P(X_2Y_3)=$ 0.0439
X_3	0	0	0	$P(X_3Y_1)=$ 0.0000	$P(X_3Y_2)=$ 0.0000	$P(X_3Y_3)=$ 0.0000
X_4	3	4	6	$P(X_4Y_1)=$ 0.0263	$P(X_4Y_2)=$ 0.0351	$P(X_4Y_3)=$ 0.0526
X_5	12	18	24	$P(X_5Y_1)=$ 0.1053	$P(X_5Y_2)=$ 0.1579	$P(X_5Y_3)=$ 0.2105
Σ	44	30	40			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju – „metan“ date su u tabeli 3.13.

Tabela 3.13. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „metan“

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
34	0.147059	0.852941	0.060739	0.350877	–0.2038	**–3.3557**
13	0.384615	0.615385	0.134932	0.350877	+0.0337	+0.2500
0	~	~	~	~	~	~
13	0.461538	0.538462	0.138264	0.350877	+0.1107	+0.8004
54	0.444444	0.555556	0.067620	0.350877	+0.0936	**+1.3837**

Na osnovu uzorka od 34 akcidenta u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=–3.3557 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „metan“.

Na osnovu uzorka od 13 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „metan“, vrednost t_2=+0.2500∈[–1.2816, +1.2816].

Zbog malog broja akcidenata N_3=0, logistički podsistem pretovara opasne materije „metan“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 13 akcidenata, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „metan“, vrednost t_4=+0.8004∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 54 akcidenta u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=+1.3837 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „metan“.

3.3.4. Proračun za opasnu materiju „poliuretani“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „poliuretani“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 12, 15, 1, 6 i 27 akcidenata.

$$X = \begin{Bmatrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{12}{61} = 0{,}1967 & \frac{15}{61} = 0{,}2459 & \frac{1}{61} = 0{,}0164 & \frac{6}{61} = 0{,}0984 & \frac{27}{61} = 0{,}4426 \end{Bmatrix}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „poliuretani“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 20, 20 i 21 akcidenta.

$$Y = \begin{Bmatrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{20}{61} = 0{,}3279 & \frac{20}{61} = 0{,}3279 & \frac{21}{61} = 0{,}3442 \end{Bmatrix}$$

U tabeli 3.14. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „poliuretani“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.14 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju "poliuretani"

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.064499	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.064499	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.064499
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.080623	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.080623	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.080623
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.005375	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.005375	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.005375
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.032249	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.032249	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.032249
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.145122	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.145122	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.145122

U tabeli 3.15. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „poliuretani" (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.15 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „poliuretani"

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	4	7	1	$P(X_1Y_1)=$ 0.0656	$P(X_1Y_2)=$ 0.1148	$P(X_1Y_3)=$ 0.0164
X_2	7	4	4	$P(X_2Y_1)=$ 0.1148	$P(X_2Y_2)=$ 0.0656	$P(X_2Y_3)=$ 0.0656
X_3	1	0	0	$P(X_3Y_1)=$ 0.0164	$P(X_3Y_2)=$ 0.0000	$P(X_3Y_3)=$ 0.0000
X_4	3	1	2	$P(X_4Y_1)=$ 0.0492	$P(X_4Y_2)=$ 0.0164	$P(X_4Y_3)=$ 0.0328
X_5	5	8	14	$P(X_5Y_1)=$ 0.0820	$P(X_5Y_2)=$ 0.1311	$P(X_5Y_3)=$ 0.2295
Σ	20	20	21			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „poliuretani" date su u tabeli 3.16.

Tabela 3.16. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „poliuretani"

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
12	0.083333	0.916667	0.079786	0.344262	–0.2609	**–3.2704**
15	0.266667	0.733333	0.114180	0.344262	–0.0776	–0.6796
1	0.000000	1.000000	0.000000	0.344262	–0.3443	~
6	0.333333	0.666667	0.192450	0.344262	–0.0109	–0.0568
27	0.518519	0.481481	0.096159	0.344262	+0.1743	**+1.8122**

Na osnovu uzorka od 12 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=–3.2704 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „poliuretani".

Na osnovu uzorka od 15 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „poliuretani“, vrednost t_2=–0.6796∈[–1.2816, +1.2816].

Zbog malog broja akcidenata N_3=1, logistički podsistem pretovara opasne materije „poliuretani“ nema reprezentativnu analizu.

Zbog malog broja akcidenata N_4=6, logistički podsistem transporta opasne materije „poliuretani“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 27 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=+1.8122 koja je veća od $t_{0.95}$=+1.6449 i manja od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „poliuretani“.

3.3.5. Proračun za opasnu materiju „motorni benzin“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „motorni benzin“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 66, 124, 92, 446 i 116 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{66}{844} = 0{,}0782 & \frac{124}{844} = 0{,}1496 & \frac{92}{844} = 0{,}1090 & \frac{446}{844} = 0{,}5284 & \frac{116}{844} = 0{,}1374 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „mMotorni benzin“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 379, 187 i 278 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{379}{844} = 0{,}4491 & \frac{187}{844} = 0{,}2216 & \frac{278}{844} = 0{,}3294 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.17. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „motorni benzin“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.17 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „motorni benzin“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.035115	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.017326	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.025758
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.065974	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.032552	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.048393
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.048949	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.024152	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.035904
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.237295	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.117082	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.174058
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.061718	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.030452	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.045271

U tabeli 3.18. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „motorni benzin“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.18 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „motorni benzin“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	32	19	15	$P(X_1Y_1)=$ 0.0379	$P(X_1Y_2)=$ 0.0225	$P(X_1Y_3)=$ 0.0178
X_2	69	28	27	$P(X_2Y_1)=$ 0.0818	$P(X_2Y_2)=$ 0.0332	$P(X_2Y_3)=$ 0.0320
X_3	55	17	20	$P(X_3Y_1)=$ 0.0652	$P(X_3Y_2)=$ 0.0201	$P(X_3Y_3)=$ 0.0237
X_4	186	82	178	$P(X_4Y_1)=$ 0.2204	$P(X_4Y_2)=$ 0.0972	$P(X_4Y_3)=$ 0.2109
X_5	37	41	38	$P(X_5Y_1)=$ 0.0438	$P(X_5Y_2)=$ 0.0486	$P(X_5Y_3)=$ 0.0450
Σ	379	187	278			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „motorni benzin“ date su u tabeli 3.19.

Tabela 3.19. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „motorni benzin“

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
66	0.227273	0.772727	0.051584	0.329384	–0.1021	**–1.9795**
124	0.217742	0.782258	0.037063	0.329384	–0.1116	**–3.0123**
92	0.217391	0.782609	0.043003	0.329384	–0.1120	**–2.6043**
446	0.399103	0.600897	0.023189	0.329384	+0.0697	**+3.0066**
116	0.327586	0.672414	0.043576	0.329384	–0.0018	–0.0413

Na osnovu uzorka od 66 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=–1.9795 koja je veća od $t_{0.01}$=–2.3264 i manja od $t_{0.05}$=–1.6449, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno nizak rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.

Na osnovu uzorka od 124 akcidenta u logističkom podsistemu skladištenja za ustanovljenu vrednost t_2=–3.0123 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema skladištenja na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.
Na osnovu uzorka od 92 akcidenta u logističkom podsistemu pretovara, za ustanovljenu vrednost t_3=–2.6043 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema pretovara na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.
Na osnovu uzorka od 446 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost t_4=+3.0066 koja je veća od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“. U logističkom podsistemu transporta opasne materije „motorni benzin“ ustanovljeno je 446 od 844 akcidenta. Ukupno, u logističkom podsistemu transporta za opasnu materiju „motorni benzin“ realizovano je više akcidenata nego u svim ostalim logističkim podsistemima zajedno. Kako opasna materija „motorni benzin“ ima visoku vrednost rizika od fatalnih ishoda po akcidentu od p=0.3294, tj. 32,94% akcidenata ima fatalan ishod, na osnovu rezultata iz tabele 3.19. zaključujemo da je logistički podsistem transporta opasne materije „motorni benzin“ najrizičniji logistički podsistem u ukupnom sistemu svih odabranih opasnih materija.
Na osnovu uzorka od 116 akcidenata, logistički podsistem upotrebe/distribucije nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „motorni benzin“, vrednost t_5=–0.0413∈[–1.2816, +1.2816].
U cilju utvrđivanja doprinosa vida transporta na rizik logističkog podsistema transporta opasne materije „motorni benzin“, prvo je ustanovljena diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po vidovima transporta (slučajna promenljiva T) za opasnu materiju „motorni benzin“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata za avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni transport respektivno: 5, 254, 56, 40, 23 i 68 akcidenata.

$$T = \left\{ \begin{array}{cccccc} P(T_1) & P(T_2) & P(T_3) & P(T_4) & P(T_5) & P(T_6) \\ \frac{5}{446} = 0{,}0112 & \frac{254}{446} = 0{,}5956 & \frac{56}{446} = 0{,}1255 & \frac{40}{446} = 0{,}0897 & \frac{23}{446} = 0{,}0516 & \frac{68}{446} = 0{,}1525 \end{array} \right\}$$

Zatim je ustanovljena diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y_t) u logističkom podsistemu transporta za opasnu materiju „motorni benzin“ na osnovu ishoda bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 186, 82 i 178 akcidenata:

$$Y_T = \left\{ \begin{matrix} P(Y_{1T}) & P(Y_{2T}) & P(Y_{3T}) \\ \frac{186}{446} = 0{,}4170 & \frac{82}{446} = 0{,}1839 & \frac{178}{446} = 0{,}3991 \end{matrix} \right\}$$

Proizvodi verovatnoća dobijeni na osnovu diskretne raspodele verovatnoća akcidenata po vidovima transporta i diskretne raspodele verovatnoća posledica u logističkom podsistemu transporta za opasnu materiju „motorni benzin“ data je u tabeli 3.20.

Tabela 3.20. Proizvodi verovatnoća podsistema transporta za opasnu materiju „motorni benzin“

$P(T_1)\cdot P(Y_{1T})=$ 0.0047	$P(T_1)\cdot P(Y_{2T})=$ 0.0021	$P(T_1)\cdot P(Y_{3T})=$ 0.0045
$P(T_2)\cdot P(Y_{1T})=$ 0.2375	$P(T_2)\cdot P(Y_{2T})=$ 0.1047	$P(T_2)\cdot P(Y_{3T})=$ 0.2273
$P(T_3)\cdot P(Y_{1T})=$ 0.0524	$P(T_3)\cdot P(Y_{2T})=$ 0.0231	$P(T_3)\cdot P(Y_{3T})=$ 0.0501
$P(T_4)\cdot P(Y_{1T})=$ 0.0374	$P(T_4)\cdot P(Y_{2T})=$ 0.0165	$P(T_4)\cdot P(Y_{3T})=$ 0.0358
$P(T_5)\cdot P(Y_{1T})=$ 0.0215	$P(T_5)\cdot P(Y_{2T})=$ 0.0095	$P(T_5)\cdot P(Y_{3T})=$ 0.0206
$P(T_6)\cdot P(Y_{1T})=$ 0.0636	$P(T_6)\cdot P(Y_{2T})=$ 0.0280	$P(T_6)\cdot P(Y_{3T})=$ 0.0608

Verovatnoće proizvoda slučajnih promenljivih diskretne raspodele akcidenta po vidovima transporta i posledica dati su u tabeli 3.21.

Tabela 3.21. Verovatnoće proizvoda podsistema transporta za opasnu materiju „motorni benzin“

	Y_{1T}	Y_{2T}	Y_{3T}			
T_1	0	1	4	$P(T_1Y_{1T})=$ 0.0000	$P(T_1Y_{2T})=$ 0.0022	$P(T_1Y_{3T})=$ 0.0090
T_2	81	59	114	$P(T_2Y_{1T})=$ 0.1816	$P(T_2Y_{2T})=$ 0.1323	$P(T_2Y_{3T})=$ 0.2556
T_3	34	7	15	$P(T_3Y_{1T})=$ 0.0762	$P(T_3Y_{2T})=$ 0.0157	$P(T_3Y_{3T})=$ 0.0336
T_4	34	1	5	$P(T_4Y_{1T})=$ 0.0762	$P(T_4Y_{2T})=$ 0.0022	$P(T_4Y_{3T})=$ 0.0112
T_5	5	4	14	$P(T_5Y_{1T})=$ 0.0112	$P(T_5Y_{2T})=$ 0.0090	$P(T_5Y_{3T})=$ 0.0314
T_6	32	10	26	$P(T_6Y_{1T})=$ 0.0717	$P(T_6Y_{2T})=$ 0.0224	$P(T_6Y_{3T})=$ 0.0583
Σ	186	82	178			

Uticaji vida transporta logističkog podsistema transporta na ishod fatalnih događaja su proračunati na osnovu statističkog protokola i podataka iz tabela 3.20. i 3.21. Rezultati proračuna su dati u tabeli 3.22:

Tabela 3.22. Uticaj logističkih podsistema transporta na ishode fatalnih događaja tokom transporta za opasnu materiju „motorni benzin“ (respektivno po koloni: avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni)

N_{iT}	$p_{ai} = \frac{P(Y_{3T}T_i)}{P(T_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_{3T})$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i \sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
5	0.800000	0.200000	0.178885	0.399103	+0.4009	**+2.2411**
254	0.448819	0.551181	0.031208	0.399103	+0.0497	**+1.5930**
56	0.267857	0.732143	0.059177	0.399103	–0.1312	**–2.2178**
40	0.125000	0.875000	0.052291	0.399103	–0.2741	**–5.2419**
23	0.608696	0.391304	0.101764	0.399103	+0.2096	**+2.0596**
68	0.382353	0.617647	0.058932	0.399103	–0.0168	–0.2842

Zbog malog broja akcidenata $N_{41}=5$, ***avionski*** transport opasne materije „motorni benzin“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 254 akcidenta u ***drumskom*** transportu opasne materije „motorni benzin“, za ustanovljenu vrednost $t_{42}=+1.5930$ koja je veća od $t_{0.90}=+1.2888$ i manja od $t_{0.95}=+1.6449$, sa pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja drumskog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.

Na osnovu uzorka od 56 akcidenata u ***železničkom*** transportu opasne materije „motorni benzin“, za ustanovljenu vrednost $t_{43}=-2.2178$ koja je veća od $t_{0.01}=-2.3264$ i manja od $t_{0.05}=-1.6449$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno nizak rizik*** uticaja železničkog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.

Na osnovu uzorka od 40 akcidenata u ***rečnom*** transportu opasne materije „motorni benzin“, za ustanovljenu vrednost $t_{44}=-5.2419$ koja je manja od $t_{0.01}=-2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja rečnog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.

Na osnovu uzorka od 23 akcidenta u ***pomorskom*** transportu opasne materije „motorni benzin“, za ustanovljenu vrednost $t_{45}=+2.0596$ koja je veća od $t_{0.95}=+1.6449$ i manja od $t_{0.99}=+2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja pomorskog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „motorni benzin“.

Na osnovu uzorka od 68 akcidenata, ***cevni*** transport opasne materije „motorni benzin“ nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta, vrednost $t_{46}=-0.2842\in[-1.2816, +1.2816]$.

Visoko učešće fatalnih ishoda u akcidentima opasne materije „motorni benzin“ signifikantno je uslovljeno logističkim podsistemom transporta, a najveći doprinos ovom kritičnom riziku signifikantno daje drumski transport. Ova činjenica je izuzetno bitna zbog disperzivnog sistema snabdevanja benzinskih pumpi, koje su uobičajeno u gradskim jezgrima i realizuju se isključivo drumskim transportom.

3.3.6. Proračun za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 37, 10, 8, 27 i 19 akcidenata.

$$X = \begin{Bmatrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{37}{101} = 0{,}3663 & \frac{10}{101} = 0{,}0990 & \frac{8}{101} = 0{,}0792 & \frac{27}{101} = 0{,}2673 & \frac{19}{101} = 0{,}1881 \end{Bmatrix}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 39, 38 i 24 akcidenta.

$$Y = \begin{Bmatrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{39}{101} = 0{,}3861 & \frac{38}{101} = 0{,}3762 & \frac{24}{101} = 0{,}2376 \end{Bmatrix}$$

U tabeli 3.23. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.23 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.141457	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.137830	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.087050
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.038232	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.037251	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.023527
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.030585	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.029801	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.018822
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.103225	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.100578	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.063523
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.072640	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.070777	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.044701

U tabeli 3.24. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „fluorovodična kiselina“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.24 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“

	Y_1	Y_2	Y_3						
X_1	9	21	7	$P(X_1Y_1)=$	0.0891	$P(X_1Y_2)=$	0.2079	$P(X_1Y_3)=$	0.0693
X_2	6	3	1	$P(X_2Y_1)=$	0.0594	$P(X_2Y_2)=$	0.0297	$P(X_2Y_3)=$	0.0099
X_3	1	4	3	$P(X_3Y_1)=$	0.0099	$P(X_3Y_2)=$	0.0396	$P(X_3Y_3)=$	0.0297
X_4	19	5	3	$P(X_4Y_1)=$	0.1881	$P(X_4Y_2)=$	0.0495	$P(X_4Y_3)=$	0.0297
X_5	4	5	10	$P(X_5Y_1)=$	0.0396	$P(X_5Y_2)=$	0.0495	$P(X_5Y_3)=$	0.0990
Σ	39	38	24						

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“ date su u tabeli 3.25.

Tabela 3.25. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
37	0.189189	0.810811	0.064388	0.237624	–0.0484	–0.7522
10	0.100000	0.900000	0.094868	0.237624	–0.1376	**–1.4507**
8	0.375000	0.625000	0.171163	0.237624	+0.1374	**+0.8026**
27	0.111111	0.888889	0.060481	0.237624	–0.1265	**–2.0918**
19	0.526316	0.473684	0.114549	0.237624	+0.2887	**+2.5203**

Na osnovu uzorka od 37 akcidenata, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“, vrednost $t_1=-0.7522\in[-1.2816, +1.2816]$.

Zbog malog broja akcidenata $N_2=10$, logistički podsistem skladištenja opasne materije „fluorovodonična kiselina“ nema reprezentativnu analizu.

Zbog malog broja akcidenata $N_3=8$, logistički podsistem pretovara opasne materije „fluorovodonična kiselina“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 27 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost $t_4=-2.0918$ koja je veća od $t_{0.01}=-2.3264$ i manja od $t_{0.05}=-1.6449$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno nizak rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „fluorovodonična kiselina“.

Na osnovu uzorka od 19 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost $t_5=+2.5203$ koja je veća od $t_{0.99}=+2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „fluorovodonična kiselina“. Dobijeni status opasne materije „fluorovodonična kiselina“ neprijatno je iznenađenje.

Ona je u komparaciji s ostalima najvažnijim neorganskim kiselinama (sumporna, azotna i hlorovodonična) rezultovala neočekivano većim rizikom od fatalnih ishoda u akcidentima. Iz prikazane analize očigledno je da problemi nastaju pri upotrebi i distribuciji. Najverovatniji razlog je slaba obučenost krajnjih korisnika i njihovo nepoznavanje specifičnih opasnosti od fluorovodonične kiseline, kao i nestandardna klinička slika povreda od ove opasne materije.

3.3.7. Proračun za opasnu materiju „metanol“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „metanol“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 59, 23, 16, 70 i 30 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{59}{198} = 0{,}2980 & \frac{23}{198} = 0{,}1162 & \frac{16}{198} = 0{,}0808 & \frac{70}{198} = 0{,}3535 & \frac{30}{198} = 0{,}1515 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju metanol ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, sa povređenima i sa fatalnim posledicama respektivno: 105, 51 i 42 akcidenta.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{105}{198} = 0{,}5303 & \frac{51}{198} = 0{,}2576 & \frac{42}{198} = 0{,}2121 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.26. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „metanol“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.26 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „metanol“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.158020	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.076752	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.063208
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.061601	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.029920	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.024640
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.042853	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.020814	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.017141
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.187481	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.091062	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.074992
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.080349	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.039027	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.032140

U tabeli 3.27. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „metanol“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.27 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „metanol“

	Y_1	Y_2	Y_3						
X_1	27	19	13	$P(X_1Y_1)=$	0.1363	$P(X_1Y_2)=$	0.0959	$P(X_1Y_3)=$	0.0656
X_2	12	5	6	$P(X_2Y_1)=$	0.0606	$P(X_2Y_2)=$	0.0252	$P(X_2Y_3)=$	0.0303
X_3	7	5	4	$P(X_3Y_1)=$	0.0353	$P(X_3Y_2)=$	0.0252	$P(X_3Y_3)=$	0.0202
X_4	51	11	8	$P(X_4Y_1)=$	0.2575	$P(X_4Y_2)=$	0.0555	$P(X_4Y_3)=$	0.0404
X_5	8	11	11	$P(X_5Y_1)=$	0.0404	$P(X_5Y_2)=$	0.0555	$P(X_5Y_3)=$	0.0656
Σ	105	51	42						

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „metanol“ date su u tabeli 3.28.

Tabela 3.28. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „metanol“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
59	0.220339	0.779661	0.053960	0.212121	+0.0082	+0.1523
23	0.260870	0.739130	0.091561	0.212121	+0.0487	+0.5324
16	0.250000	0.750000	0.108253	0.212121	+0.0379	+0.3499
70	0.114286	0.885714	0.038027	0.212121	–0.0978	**–2.5728**
30	0.366667	0.633333	0.087981	0.212121	+0.1545	**+1.7566**

Na osnovu uzorka od 59 akcidenata, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „metanol“, vrednost $t_1=+0.1523\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 23 akcidenta, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „metanol“, vrednost $t_2=+0.5324\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 16 akcidenata, logistički podsistem pretovara nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „metanol“, vrednost $t_3=+0.3499\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 70 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost $t_4=-2.5728$ koja je manja od $t_{0.01}=-2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „metanol“.

Na osnovu uzorka od 30 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=+1.7566 koja je veća od $t_{0.95}$=+1.6449 i manja od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „metanol“.

3.3.8. Proračun za opasnu materiju „tečni naftni gas“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „tečni naftni gas“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 57, 99, 62, 233 i 164 akcidenta.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{57}{779} = 0{,}07317 & \frac{99}{779} = 0{,}127086 & \frac{62}{779} = 0{,}079589 & \frac{233}{779} = 0{,}299101 & \frac{164}{779} = 0{,}421053 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „tečni naftni gas“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 416, 199 i 164 akcidenta.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{416}{779} = 0{,}534018 & \frac{199}{779} = 0{,}2554557 & \frac{164}{799} = 0{,}210526 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.29. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „tečni naftni gas“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.29 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „tečni naftni gas“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)$= 0.039074	$P(X_1)\cdot P(Y_2)$= 0.0186919	$P(X_1)\cdot P(Y_3)$= 0.015404
$P(X_2)\cdot P(Y_1)$= 0.067866	$P(X_2)\cdot P(Y_2)$= 0.0324648	$P(X_2)\cdot P(Y_3)$= 0.026755
$P(X_3)\cdot P(Y_1)$= 0.042502	$P(X_3)\cdot P(Y_2)$= 0.0203315	$P(X_3)\cdot P(Y_3)$= 0.016756
$P(X_4)\cdot P(Y_1)$= 0.159726	$P(X_4)\cdot P(Y_2)$= 0.0764072	$P(X_4)\cdot P(Y_3)$= 0.062969
$P(X_5)\cdot P(Y_1)$= 0.224850	$P(X_5)\cdot P(Y_2)$= 0.1075603	$P(X_5)\cdot P(Y_3)$= 0.088643

U tabeli 3.30. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „tečni naftni gas“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.30 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „tečni naftni gas“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	24	16	17	$P(X_1Y_1)=$ 0.0308	$P(X_1Y_2)=$ 0.0205	$P(X_1Y_3)=$ 0.0218
X_2	53	27	19	$P(X_2Y_1)=$ 0.0680	$P(X_2Y_2)=$ 0.0346	$P(X_2Y_3)=$ 0.0243
X_3	28	18	16	$P(X_3Y_1)=$ 0.0359	$P(X_3Y_2)=$ 0.0231	$P(X_3Y_3)=$ 0.0205
X_4	136	40	57	$P(X_4Y_1)=$ 0.1745	$P(X_4Y_2)=$ 0.0513	$P(X_4Y_3)=$ 0.0731
X_5	175	98	55	$P(X_5Y_1)=$ 0.2246	$P(X_5Y_2)=$ 0.1258	$P(X_5Y_3)=$ 0.0706
Σ	416	199	164			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „tečni naftni gas“ date su u tabeli 3.31.

Tabela 3.31. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „tečni naftni gas“

N	$p_a = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_a=1-p_a$	$\sqrt{\frac{p_aq_a}{N}}$	$p_b = P(Y_3)$	$\Delta p=p_a-p_b$	$t = \frac{\Delta p\sqrt{N}}{\sqrt{pq}}$
57	0.298246	0.701754	0.060596	0.210526	+0.0877	**+1.4476**
99	0.191919	0.808081	0.039579	0.210526	–0.0186	–0.4701
62	0.258065	0.741935	0.055571	0.210526	+0.0475	+0.8554
233	0.244635	0.755365	0.028162	0.210526	+0.0341	+1.2112
328	0.167683	0.832317	0.020628	0.210526	–0.0428	**–2.0770**

Na osnovu uzorka od 57 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+1.4476 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „tečni naftni gas“.

Na osnovu uzorka od 99 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „tečni naftni gas“, vrednost t_2=–0.4701∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 62 akcidenta, logistički podsistem pretovara nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „tečni naftni gas“, vrednost t_3=+0.8554∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 233 akcidenta, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „tečni naftni gas“, vrednost t_4=+1.2112∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 328 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=–2.0770 koja je veća od $t_{0.01}$=–2.3264 i manja od $t_{0.05}$=–1.6449, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno nizak rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „tečni naftni gas“.

3.3.9. Proračun za opasnu materiju „vodonik“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „vodonik“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 213, 29, 8, 21 i 68 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{213}{339} = 0{,}6283 & \frac{29}{339} = 0{,}0855 & \frac{8}{339} = 0{,}0236 & \frac{21}{339} = 0{,}0619 & \frac{68}{339} = 0{,}2006 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „vodonik“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 177, 91 i 71 akcident.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{177}{339} = 0{,}5221 & \frac{91}{339} = 0{,}2684 & \frac{71}{339} = 0{,}2094 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.32. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „vodonik“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.32 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „vodonik“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)$= 0.328060	$P(X_1)\cdot P(Y_2)$= 0.168663	$P(X_1)\cdot P(Y_3)$= 0.131594
$P(X_2)\cdot P(Y_1)$= 0.044665	$P(X_2)\cdot P(Y_2)$= 0.022963	$P(X_2)\cdot P(Y_3)$= 0.017916
$P(X_3)\cdot P(Y_1)$= 0.012321	$P(X_3)\cdot P(Y_2)$= 0.006334	$P(X_3)\cdot P(Y_3)$= 0.004942
$P(X_4)\cdot P(Y_1)$= 0.032340	$P(X_4)\cdot P(Y_2)$= 0.016628	$P(X_4)\cdot P(Y_3)$= 0.012974
$P(X_5)\cdot P(Y_1)$= 0.104732	$P(X_5)\cdot P(Y_2)$= 0.053845	$P(X_5)\cdot P(Y_3)$= 0.042011

U tabeli 3.33. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „vodonik“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.33 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „vodonik“

	C_1	C_2	C_3						
H_1	123	50	40	$P(X_1Y_1)=$	0.3628	$P(X_1Y_2)=$	0.1475	$P(X_1Y_3)=$	0.1180
H_2	16	6	7	$P(X_2Y_1)=$	0.0472	$P(X_2Y_2)=$	0.0177	$P(X_2Y_3)=$	0.0206
H_3	2	5	1	$P(X_3Y_1)=$	0.0059	$P(X_3Y_2)=$	0.0147	$P(X_3Y_3)=$	0.0029
H_4	12	3	6	$P(X_4Y_1)=$	0.0354	$P(X_4Y_2)=$	0.0088	$P(X_4Y_3)=$	0.0177
H_5	24	27	17	$P(X_5Y_1)=$	0.0708	$P(X_5Y_2)=$	0.0796	$P(X_5Y_3)=$	0.0501

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „vodonik“ date su u tabeli 3.34.

Tabela 3.34. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „vodonik“

N_i	$p_{ai}=\frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
90	0.187793	0.812207	0.041167	0.209440	–0.0216	–0.5258
13	0.241379	0.758621	0.118684	0.209440	+0.0319	+0.2691
6	0.125000	0.875000	0.135015	0.209440	–0.0844	–0.6254
9	0.285714	0.714286	0.150585	0.209440	+0.0763	+0.5065
44	0.250000	0.750000	0.065279	0.209440	+0.0406	+0.6213

Na osnovu uzorka od 90 akcidenata, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „vodonik“, vrednost $t_1=-0.5258\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 13 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „vodonik“, vrednost $t_2=+0.2691\in[-1.2816, +1.2816]$.

Zbog malog broja akcidenata $N_3=6$, logistički podsistem pretovara opasne materije „vodonik“ nema reprezentativnu analizu.

Zbog malog broja akcidenata $N_4=9$, logistički podsistem transporta opasne materije „vodonik“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 44 akcidenta, logistički podsistem upotrebe/distribucije nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „vodonik“, vrednost $t_5=+0.6213\in[-1.2816, +1.2816]$.

3.3.10. Proračun za opasnu materiju „prirodni gas“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „prirodni gas“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 76, 36, 4, 1 149 i 414 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{76}{1808} = 0{,}0420 & \frac{36}{1808} = 0{,}0199 & \frac{4}{1808} = 0{,}0022 & \frac{1149}{1808} = 0{,}6355 & \frac{414}{1808} = 0{,}2290 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „prirodni gas“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 1040, 438 i 330 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{1040}{1808} = 0{,}5752 & \frac{438}{1808} = 0{,}2423 & \frac{330}{1808} = 0{,}1825 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.35. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „prirodni gas“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.35 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „prirodni gas“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.024180	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.010183	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.007672
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.011454	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.004824	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.003634
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.001273	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.000536	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.000404
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.365558	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.153956	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.115994
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.131715	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.055472	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.041794

U tabeli 3.36. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „prirodni gas“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.36– Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „prirodni gas“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	24	21	31	$P(X_1Y_1)=$ 0.0268	$P(X_1Y_2)=$ 0.0234	$P(X_1Y_3)=$ 0.0346
X_2	23	7	6	$P(X_2Y_1)=$ 0.0257	$P(X_2Y_2)=$ 0.0078	$P(X_2Y_3)=$ 0.0067
X_3	0	3	1	$P(X_3Y_1)=$ 0.0000	$P(X_3Y_2)=$ 0.0033	$P(X_3Y_3)=$ 0.0011
X_4	819	193	137	$P(X_4Y_1)=$ 0.9141	$P(X_4Y_2)=$ 0.2154	$P(X_4Y_3)=$ 0.1529
X_5	174	214	155	$P(X_5Y_1)=$ 0.1942	$P(X_5Y_2)=$ 0.2388	$P(X_5Y_3)=$ 0.1730
Σ	1040	438	330			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju “Prirodni gas” su date u tabeli 3.37.

Tabela 3.37. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „prirodni gas“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
76	0.823073	0.176927	0.001916	0.182522	+0.6406	**+14.6334**
36	0.336310	0.663690	0.006200	0.182522	+0.1538	**+1.9531**
4	0.504464	0.495536	0.062495	0.182522	+0.3219	**+1.2878**
1149	0.240597	0.759403	0.000159	0.182522	+0.0581	**+4.6054**
543	0.755478	0.244522	0.000340	0.182522	+0.5730	**+31.0636**

Na osnovu uzorka od 76 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+14.6334 koja je veća od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „prirodni gas“.

Na osnovu uzorka od 36 akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja, za ustanovljenu vrednost t_2=+1.9531 koja je veća od $t_{0.95}$=+1.6449 i manja od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja logističkog podsistema skladištenja na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „prirodni gas“.

Zbog malog broja akcidenata N_3=4, logistički podsistem pretovara opasne materije „prirodni gas“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 1149 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost t_4=+4.6054 koja je veća od $t_{0.99}$=+2.3264, sa pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije “Prirodni gas”. U strukturi transporta opasne matereije dominira cevni transport. Od 1 149 akcidenata 1 131 akcident ili 98,43% realizovano je u cevnom transportu, a u preostalih pet transportnih sistema raspodeljeno je 18 akcidenata pa

izrada reprezentativne analize nije moguća. U svakom slučaju, koncepti ostalih vidova transporta opasne materije „prirodni gas“ su poznati (posebno pomorski).

Na osnovu uzorka od 543 akcidenta u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije za ustanovljenu vrednost t_5=+31.0636 koja je veća od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „prirodni gas“.

3.3.11. Proračun za opasnu materiju „etanol“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „etanol“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 27, 13, 6, 48 i 17 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{27}{111} = 0{,}2432 & \frac{13}{111} = 0{,}1171 & \frac{6}{111} = 0{,}0541 & \frac{48}{111} = 0{,}4324 & \frac{17}{111} = 0{,}1532 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „etanol“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 59, 33 i 19 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{59}{111} = 0{,}5315 & \frac{33}{111} = 0{,}2793 & \frac{19}{111} = 0{,}1712 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.38. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju – „etanol“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.38 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „etanol“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)$= 0.129291	$P(X_1)\cdot P(Y_2)$= 0.072316	$P(X_1)\cdot P(Y_3)$= 0.041636
$P(X_2)\cdot P(Y_1)$= 0.062251	$P(X_2)\cdot P(Y_2)$= 0.034819	$P(X_2)\cdot P(Y_3)$= 0.020047
$P(X_3)\cdot P(Y_1)$= 0.028731	$P(X_3)\cdot P(Y_2)$= 0.016070	$P(X_3)\cdot P(Y_3)$= 0.009252
$P(X_4)\cdot P(Y_1)$= 0.229851	$P(X_4)\cdot P(Y_2)$= 0.128561	$P(X_4)\cdot P(Y_3)$= 0.074020
$P(X_5)\cdot P(Y_1)$= 0.081406	$P(X_5)\cdot P(Y_2)$= 0.045532	$P(X_5)\cdot P(Y_3)$= 0.026215

U tabeli 3.39. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „etanol“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.39 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „etanol“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	7	13	7	$P(X_1Y_1)=$ 0.2593	$P(X_1Y_2)=$ 0.4815	$P(X_1Y_3)=$ 0.2593
X_2	8	4	1	$P(X_2Y_1)=$ 0.6154	$P(X_2Y_2)=$ 0.3077	$P(X_2Y_3)=$ 0.0769
X_3	5	1	0	$P(X_3Y_1)=$ 0.8333	$P(X_3Y_2)=$ 0.1667	$P(X_3Y_3)=$ 0.0000
X_4	31	10	7	$P(X_4Y_1)=$ 0.6458	$P(X_4Y_2)=$ 0.2083	$P(X_4Y_3)=$ 0.1458
X_5	8	5	4	$P(X_5Y_1)=$ 0.4706	$P(X_5Y_2)=$ 0.2941	$P(X_5Y_3)=$ 0.2353
Σ	59	33	19			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „etanol“ date su u tabeli 3.40.

Tabela 3.40. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „etanol“

N	$p_a = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_a=1-p_a$	$\sqrt{\frac{p_a q_a}{N}}$	$p_b = P(Y_3)$	$\Delta p=p_a-p_b$	$t = \frac{\Delta p\sqrt{N}}{\sqrt{pq}}$
27	0.259259	0.740741	0.084337	0.171171	+0.0881	–1.0445
13	0.076923	0.923077	0.073905	0.171171	–0.0942	–1.2753
6	0.000000	1.000000	0.000000	0.171171	–0.1712	~
48	0.145833	0.854167	0.050942	0.171171	–0.0253	–0.4974
17	0.235294	0.764706	0.102879	0.171171	+0.0641	+0.6233

Na osnovu uzorka od 27 akcidenata, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „etanol“, vrednost $t_1=-1.0445\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 13 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „etanol“, vrednost $t_2=-1.2753\in[-1.2816, +1.2816]$.

Zbog malog broja akcidenata $N_3=6$, logistički podsistem pretovara opasne materije „etanol“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 48 akcidenata, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „etanol“, vrednost $t_4=-0.4974\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 17 akcidenata, logistički podsistem upotrebe/distribucije nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „etanol“, vrednost $t_5=+0.6233\in[-1.2816, +1.2816]$.

3.3.12. Proračun za opasnu materiju „dizel gorivo“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „dizel gorivo“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 38, 106, 73, 604 i 75 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{38}{896} = 0{,}0424 & \frac{106}{896} = 0{,}1183 & \frac{73}{896} = 0{,}0815 & \frac{604}{896} = 0{,}6741 & \frac{75}{896} = 0{,}0837 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „dizel gorivo“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 598, 157 i 141 akcident.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{598}{896} = 0{,}6674 & \frac{157}{896} = 0{,}1752 & \frac{141}{896} = 0{,}1574 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.41. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „dizel gorivo“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.41 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „dizel gorivo“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.028305	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.007431	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.006674
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.078957	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.020730	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.018617
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.054376	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.014276	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.012821
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.449906	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.118119	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.106082
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.055866	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.014667	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.013172

U tabeli 3.42. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „dizel gorivo“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.42 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „dizel gorivo“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	22	8	8	$P(X_1Y_1)=$ 0.0246	$P(X_1Y_2)=$ 0.0089	$P(X_1Y_3)=$ 0.0089
X_2	89	7	10	$P(X_2Y_1)=$ 0.0993	$P(X_2Y_2)=$ 0.0078	$P(X_2Y_3)=$ 0.0112
X_3	56	8	9	$P(X_3Y_1)=$ 0.0625	$P(X_3Y_2)=$ 0.0089	$P(X_3Y_3)=$ 0.0100
X_4	386	119	99	$P(X_4Y_1)=$ 0.4308	$P(X_4Y_2)=$ 0.1328	$P(X_4Y_3)=$ 0.1105
X_5	45	15	15	$P(X_5Y_1)=$ 0.0502	$P(X_5Y_2)=$ 0.0167	$P(X_5Y_3)=$ 0.0167
Σ	598	157	141			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „dizel gorivo“ su date u tabeli 3.43.

Tabela 3.43. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „dizel goriva“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
38	0.210526	0.789474	0.066135	0.1573661	+0.0532	+0.8038
106	0.094340	0.905660	0.028391	0.1573661	–0.0630	**–2.2200**
73	0.123288	0.876712	0.038479	0.1573661	–0.0341	–0.8856
604	0.163907	0.836093	0.015063	0.1573661	+0.0065	+0.4343
75	0.200000	0.800000	0.046188	0.1573661	+0.0426	+0.9231

Na osnovu uzorka od 38 akcidenata, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „dizel gorivo“, vrednost $t_1=+0.8038\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 106 akcidenata u logističkom podsistemu skladištenja, za ustanovljenu vrednost $t_2=-2.2200$ koja je veća od $t_{0.01}=-2.3264$ i manja od $t_{0.05}=-1.6449$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno nizak rizik*** uticaja logističkog podsistema skladištenja na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „dizel gorivo“.

Na osnovu uzorka od 73 akcidenta, logistički podsistem pretovara nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „dizel gorivo“, vrednost $t_3=-0.8856\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 604 akcidenta, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „dizel gorivo“, vrednost $t_4=+0.4343\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 75 akcidenata, logistički podsistem upotrebe/distribucije nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „dizel gorivo“, vrednost $t_5=+0.9231\in[-1.2816, +1.2816]$.

U logističkom podsistemu transporta opasne materije „dizel goriva“ ustanovljeno je 604 od 896 akcidenata. Ukupno, u logističkom podsistemu transporta realizovano je više akcidenata nego u svim ostalim logističkim podsistemima zajedno. Iako u analizi uticaja logističkih podsistema za opasnu materiju „dizel gorivo“ nije ustanovljen signifikantan uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta, $t_4=+0.4343\in[-1.2816, +1.2816]$ postoji mogućnost da se u velikom uzorku od 604 akcidenta logističkog podsistema transporta rizik jednog vida transporta kompenzuje pouzdanošću drugog vida transporta. Zbog toga, detaljno će se ispitati uticaj svakog vida transporta.

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po vidovima transporta (slučajna promenljiva T) za opasnu materiju „dizel gorivo“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata za avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni transport respektivno: 0, 272, 121, 60, 98 i 53 akcidenta.

$$T=\left\{\begin{matrix} P(T_1) & P(T_2) & P(T_3) & P(T_4) & P(T_5) & P(T_6) \\ \frac{0}{604}=0{,}0000 & \frac{272}{640}=0{,}4503 & \frac{121}{604}=0{,}2003 & \frac{60}{604}=0{,}0993 & \frac{98}{604}=0{,}1624 & \frac{53}{604}=0{,}0877 \end{matrix}\right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y_T) u logističkom podsistemu transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“ ustanovljena je na osnovu ishoda bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 386, 119 i 99 akcidenata:

$$Y_T=\left\{\begin{matrix} P(Y_{1T}) & P(Y_{2T}) & P(Y_{3T}) \\ \frac{386}{604}=0{,}6391 & \frac{119}{604}=0{,}1970 & \frac{99}{604}=0{,}1639 \end{matrix}\right\}.$$

Proizvodi verovatnoća dobijeni na osnovu diskretne raspodele verovatnoća akcidenata po vidovima transporta i diskretne raspodele verovatnoća posledica u logističkom podsistemu transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“ data je u tabeli 3.44.

Tabela 3.44 – Proizvodi verovatnoća podsistema transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“

$P(T_1)\cdot P(Y_{1T})=$	0.0000	$P(T_1)\cdot P(Y_{2T})=$	0.0000	$P(T_1)\cdot P(Y_{3T})=$	0.0000
$P(T_2)\cdot P(Y_{1T})=$	0.2878	$P(T_2)\cdot P(Y_{2T})=$	0.0887	$P(T_2)\cdot P(Y_{3T})=$	0.0738
$P(T_3)\cdot P(Y_{1T})=$	0.1280	$P(T_3)\cdot P(Y_{2T})=$	0.0395	$P(T_3)\cdot P(Y_{3T})=$	0.0328
$P(T_4)\cdot P(Y_{1T})=$	0.0635	$P(T_4)\cdot P(Y_{2T})=$	0.0196	$P(T_4)\cdot P(Y_{3T})=$	0.0163
$P(T_5)\cdot P(Y_{1T})=$	0.1037	$P(T_5)\cdot P(Y_{2T})=$	0.0320	$P(T_5)\cdot P(Y_{3T})=$	0.0266
$P(T_6)\cdot P(Y_{1T})=$	0.0561	$P(T_6)\cdot P(Y_{2T})=$	0.0173	$P(T_6)\cdot P(Y_{3T})=$	0.0144

Verovatnoće proizvoda slučajnih promenljivih diskretne raspodele akcidenta po vidovima transporta i posledica dati su u tabeli 3.45.

Tabela 3.45 – Verovatnoće proizvoda podsistema transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“

	Y_{1T}	Y_{2T}	Y_{3T}						
T_1	0	0	0	$P(T_1Y_{1T})=$	0.0000	$P(T_1Y_{2T})=$	0.0000	$P(T_1Y_{3T})=$	0.0000
T_2	152	72	48	$P(T_2Y_{1T})=$	0.2517	$P(T_2Y_{2T})=$	0.1192	$P(T_2Y_{3T})=$	0.0795
T_3	60	30	31	$P(T_3Y_{1T})=$	0.0993	$P(T_3Y_{2T})=$	0.0497	$P(T_3Y_{3T})=$	0.0513
T_4	53	4	3	$P(T_4Y_{1T})=$	0.0877	$P(T_4Y_{2T})=$	0.0066	$P(T_4Y_{3T})=$	0.0050
T_5	75	8	15	$P(T_5Y_{1T})=$	0.1242	$P(T_5Y_{2T})=$	0.0132	$P(T_5Y_{3T})=$	0.0248
T_6	46	5	2	$P(T_6Y_{1T})=$	0.0762	$P(T_6Y_{2T})=$	0.0083	$P(T_6Y_{3T})=$	0.0033
Σ	386	119	99						

Uticaji vida transporta logističkog podsitema transporta na ishod fatalnih događaja proračunati su na osnovu statističkog protokola i podataka iz tabela 3.44. i 3.45. Rezultati proračuna dati su u tabeli 3.46.

Tabela 3.46. Uticaj logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja tokom transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“ (respektivno po koloni: avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni)

N_{iT}	$p_{ai}=\frac{P(Y_{3T}T_i)}{P(T_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3}=P(Y_{3T})$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i=\frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
0	~	~	~	0.163907	~	~
272	0.176471	0.823529	0.023115	0.163907	+0.0126	+0.5435
121	0.256198	0.743802	0.039685	0.163907	+0.0923	**+2.3256**
60	0.050000	0.950000	0.028137	0.163907	–0.1139	**–4.0484**
98	0.153061	0.846939	0.03637	0.163907	–0.0108	–0.2982
53	0.037736	0.962264	0.026175	0.163907	–0.1262	**–4.8203**

Zbog malog broja akcidenata $N_{41}=0$, ***avionski*** transport opasne materije „dizel gorivo“ nema reprezentativnu analizu.

Na osnovu uzorka od 272 akcidenta, ***drumski*** transport opasne materije „dizel gorivo“ nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta, vrednost $t_{42}=+0.5435\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 121 akcidenta u ***železničkom*** transportu opasne materije „dizel gorivo“, za ustanovljenu vrednost $t_{43}=+2.3256$ koja je veća od $t_{0.95}=+1.6449$ i manja od $t_{0.99}=+2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja železničkog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „dizel gorivo“.

Razlika „t“ vrednosti je jednaka svega Δ=0.0008, što znači da je uticaj železničkog transporta na granici ***kritičnog rizika***!

Na osnovu uzorka od 60 akcidenata u ***rečnom*** transportu opasne materije „dizel gorivo“, za ustanovljenu vrednost t_{44}=–4.0484 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja rečnog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „dizel gorivo“.

Na osnovu uzorka od 98 akcidenata, ***pomorski*** transport opasne materije „dizel gorivo“ nema uticaj na ishod od fatalnih posledica od akcidenta, vrednost t_{45}=–0.2982$\in$[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 53 akcidenata u ***cevnom*** transportu opasne materije „dizel gorivo“, za ustanovljenu vrednost t_{46}=–4.8203 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja cevnog transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „dizel gorivo“.

U odnosu na dva najznačajnija komercijalna energenta, koji su ujedno i opasne materije, „pogonski benzin“ i „dizel gorivo“, kopneni vidovi transporta nemaju prihvatljive rizike. Za „pogonski benzin“ postoji ***visok rizik*** u drumskom transportu, a za „dizel gorivo“ postoji ***izuzetno visok rizik*** bezmalo ***kritičan rizik*** u železničkom transportu. Poseban problem u železničkom transportu opasne materije „dizel goriva“ su veliki kontingenti koji mogu izazvati Domino-efekat. Sudeći po statistički signifikantnim posledicama, za navedene energente neophodno je sprovesti „aposteriori“ analizu uzroka svih dostupnih podataka o akcidentima i u što kraćem roku smanjiti obim dokazanih posledica i unaprediti sistem zaštite na radu.

3.3.13. Proračun za opasnu materiju „amonijak dehidriran“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „amonijak dehidriran“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 29, 34, 27, 54 i 117 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{array}{ccccc} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{29}{261} = 0{,}1111 & \frac{34}{261} = 0{,}1303 & \frac{27}{261} = 0{,}1034 & \frac{54}{261} = 0{,}2069 & \frac{117}{261} = 0{,}4483 \end{array} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „ amonijak dehidriran“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 119, 105 i 37 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{119}{261} = 0{,}4559 & \frac{105}{261} = 0{,}4023 & \frac{37}{261} = 0{,}1418 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.47. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „amonijak dehidriran“ (po modelu tabele 3.3)

Tabela 3.47 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „amonijak dehidriran“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.050660	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.044700	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.015751
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.059394	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.052407	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.018467
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.047166	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.041617	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.014665
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.094332	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.083234	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.029330
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.204386	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.180341	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.063549

U tabeli 3.48. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „amonijak dehidriran“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.48 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „amonijak dehidriran“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	11	15	3	$P(X_1Y_1)=$ 0.0421	$P(X_1Y_2)=$ 0.0575	$P(X_1Y_3)=$ 0.0115
X_2	16	14	4	$P(X_2Y_1)=$ 0.0613	$P(X_2Y_2)=$ 0.0536	$P(X_2Y_3)=$ 0.0153
X_3	2	17	8	$P(X_3Y_1)=$ 0.0077	$P(X_3Y_2)=$ 0.0651	$P(X_3Y_3)=$ 0.0307
X_4	33	14	7	$P(X_4Y_1)=$ 0.1264	$P(X_4Y_2)=$ 0.0536	$P(X_4Y_3)=$ 0.0268
X_5	57	45	15	$P(X_5Y_1)=$ 0.2184	$P(X_5Y_2)=$ 0.1724	$P(X_5Y_3)=$ 0.0575
Σ	119	105	37			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „amonijak dehidriran“ date su u tabeli 3.49.

Tabela 3.49. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „amonijak dehidriran“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
29	0.1034	0.8966	0.0566	0.141762	–0.0383	–0.6775
34	0.1176	0.8824	0.0553	0.141762	–0.0241	–0.4364
27	0.2963	0.7037	0.0879	0.141762	+0.1545	**+1.7585**
54	0.1296	0.8704	0.0457	0.141762	–0.0121	–0.2654
117	0.1282	0.8718	0.0309	0.141762	–0.0136	–0.4386

Na osnovu uzorka od 29 akcidenata, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „amonijak dehidriran“, vrednost $t_1=-0.6775\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 34 akcidenta, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „amonijak dehidriran“, vrednost $t_2=-0.4364\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 27 akcidenata u logističkom podsistemu pretovara, za ustanovljenu vrednost $t_3=+1.7585$ koja je veća od $t_{0.95}=+1.6449$ i manja od $t_{0.99}=+2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja logističkog podsistema pretovara na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „amonijak dehidriran“.

Na osnovu uzorka od 57 akcidenata, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „amonijak dehidriran“, vrednost $t_4=-0.2654\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 117 akcidenata, logistički podsistem upotrebe/distribucije nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „amonijak dehidriran“, vrednost $t_5=-0.4386\in[-1.2816, +1.2816]$.

3.3.14. Proračun za opasnu materiju „amonijak“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „amonijak“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 137, 50, 24, 73 i 269 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{137}{553} = 0{,}2477 & \frac{50}{553} = 0{,}0904 & \frac{24}{553} = 0{,}0434 & \frac{73}{553} = 0{,}1321 & \frac{269}{553} = 0{,}4864 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „amonijak“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 257, 218 i 78 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{257}{553} = 0{,}4647 & \frac{218}{553} = 0{,}3942 & \frac{78}{553} = 0{,}1411 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.50. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „amonijak“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.50 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „amonijak“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.115134	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.097662	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.034943
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.042020	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.035643	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.012753
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.020169	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.017109	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.006121
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.061349	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.052039	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.018619
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.226066	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.191760	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.068611

U tabeli 3.51. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „amonijak“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.51 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „amonijak“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	66	45	26	$P(X_1Y_1)=$ 0.1193	$P(X_1Y_2)=$ 0.0814	$P(X_1Y_3)=$ 0.0470
X_2	25	16	9	$P(X_2Y_1)=$ 0.0452	$P(X_2Y_2)=$ 0.0289	$P(X_2Y_3)=$ 0.0163
X_3	8	9	7	$P(X_3Y_1)=$ 0.0145	$P(X_3Y_2)=$ 0.0163	$P(X_3Y_3)=$ 0.0127
X_4	46	17	10	$P(X_4Y_1)=$ 0.0832	$P(X_4Y_2)=$ 0.0307	$P(X_4Y_3)=$ 0.0181
X_5	112	131	26	$P(X_5Y_1)=$ 0.2025	$P(X_5Y_2)=$ 0.2369	$P(X_5Y_3)=$ 0.0470
Σ	257	218	78			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „amonijak“ date su u tabeli 3.52.

Tabela 3.52. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „amonijak“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
137	0.189781	0.810219	0.033502	0.141049	+0.0487	**+1.4546**
50	0.180000	0.820000	0.054332	0.141049	+0.0390	+0.7169
24	0.291667	0.708333	0.092780	0.141049	+0.1506	**+1.6234**
73	0.136986	0.863014	0.040243	0.141049	–0.0041	–0.1010
269	0.096654	0.903346	0.018016	0.141049	–0.0444	**–2.4642**

Na osnovu uzorka od 137 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+1.4546 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „amonijak“.

Na osnovu uzorka od 50 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „amonijak“, vrednost t_2=+0.7196∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 24 akcidenta u logističkom podsistemu pretovara, za ustanovljenu vrednost t_3=+1.6234 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema pretovara na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „amonijak“.

Na osnovu uzorka od 73 akcidenta, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „amonijak“, vrednost t_4=–0.1010∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 269 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=–2.4642 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „amonijak“.

3.3.15. Proračun za opasnu materiju „sumporna kiselina“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „sumporna kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 94, 64, 50, 173 i 73 akcidenta.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{94}{454} = 0{,}2070 & \frac{64}{454} = 0{,}1410 & \frac{50}{454} = 0{,}1101 & \frac{173}{454} = 0{,}3811 & \frac{73}{454} = 0{,}1608 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „sumporna kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 242, 153 i 59 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{242}{454} = 0{,}5330 & \frac{153}{454} = 0{,}3370 & \frac{59}{454} = 0{,}1300 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.53. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „sumporna kiselina“ (po modelu tabele 3.3)

Tabela 3.53 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „sumporna kiselina“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.110365	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.069776	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.026907
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.075142	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.047507	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.01832
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.058705	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.037115	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.014312
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.203119	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.128418	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.049521
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.085709	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.054188	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.020896

U tabeli 3.54. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „sumporna kiselina“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.54 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „sumporna kiselina“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	36	40	18	$P(X_1Y_1)=$ 0.0792	$P(X_1Y_2)=$ 0.0881	$P(X_1Y_3)=$ 0.0396
X_2	43	14	7	$P(X_2Y_1)=$ 0.0947	$P(X_2Y_2)=$ 0.0308	$P(X_2Y_3)=$ 0.0154
X_3	20	27	3	$P(X_3Y_1)=$ 0.0440	$P(X_3Y_2)=$ 0.0594	$P(X_3Y_3)=$ 0.0066
X_4	112	44	17	$P(X_4Y_1)=$ 0.2466	$P(X_4Y_2)=$ 0.0969	$P(X_4Y_3)=$ 0.0374
X_5	31	28	14	$P(X_5Y_1)=$ 0.0682	$P(X_5Y_2)=$ 0.0616	$P(X_5Y_3)=$ 0.0308
Σ	242	153	59			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „sumporna kiselina“ date su u tabeli 3.55.

Tabela 3.55. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „sumporna kiselina“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
94	0.191489	0.808511	0.040584	0.129956	+0.0615	**+1.5162**
64	0.109375	0.890625	0.039014	0.129956	–0.0206	–0.5275
50	0.060000	0.940000	0.033586	0.129956	–0.0700	**–2.0829**
173	0.098266	0.901734	0.022632	0.129956	–0.0317	**–1.4002**
73	0.191781	0.808219	0.046079	0.129956	+0.0618	**+1.3417**

Na osnovu uzorka od 94 akcidenta u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+1.5162 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „sumporna kiselina“.

Na osnovu uzorka od 64 akcidenta, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „sumporna kiselina“, vrednost t_2=–0.5275∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 50 akcidenata u logističkom podsistemu pretovara, za ustanovljenu vrednost t_3=–2.0829 koja je veća od $t_{0.01}$=–2.3264 i manja od $t_{0.05}$=–1.6449, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno nizak rizik*** uticaja logističkog podsistema pretovara na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „sumporna kiselina“.

Na osnovu uzorka od 173 akcidenta u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost t_4=–1.4002 koja je veća od od $t_{0.05}$=–1.6449 i manja od $t_{0.10}$=–1.2888, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***nizak rizik*** od uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „sumporna kiselina“.

Na osnovu uzorka od 73 akcidenta u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=+1.3417 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „sumporna kiselina“.

3.3.16. Proračun za opasnu materiju „zemno ulje“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „zemno ulje“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima

proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 161, 174, 105, 669 i 241 akcident.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{161}{1350} = 0{,}1193 & \frac{174}{1350} = 0{,}1289 & \frac{105}{1350} = 0{,}0778 & \frac{669}{1350} = 0{,}4955 & \frac{241}{1350} = 0{,}1758 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „zemno ulje“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 1 054, 140 i 156 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{1054}{1350} = 0{,}7807 & \frac{140}{1350} = 0{,}1037 & \frac{156}{1350} = 0{,}156 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.56. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „zemno ulje“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.56 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju„zemno ulje“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.093111	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.012368	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.013781
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.100629	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.013366	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.014894
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.060724	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.008066	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.008988
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.386900	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.051391	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.057264
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.138798	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.018436	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.020543

U tabeli 3.57. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „zemno ulje“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.57 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „zemno ulje“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	109	20	32	$P(X_1Y_1)=$ 0.0807	$P(X_1Y_2)=$ 0.0148	$P(X_1Y_3)=$ 0.0237
X_2	124	26	24	$P(X_2Y_1)=$ 0.0919	$P(X_2Y_2)=$ 0.0193	$P(X_2Y_3)=$ 0.0178
X_3	82	9	14	$P(X_3Y_1)=$ 0.0607	$P(X_3Y_2)=$ 0.0067	$P(X_3Y_3)=$ 0.0104
X_4	589	31	49	$P(X_4Y_1)=$ 0.4363	$P(X_4Y_2)=$ 0.0230	$P(X_4Y_3)=$ 0.0363
X_5	149	54	37	$P(X_5Y_1)=$ 0.1104	$P(X_5Y_2)=$ 0.0400	$P(X_5Y_3)=$ 0.0274
Σ	1053	140	156			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „zemno ulje“ date su u tabeli 3.58.

Tabela 3.58. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju„zemno ulje“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
161	0.198758	0.801242	0.031451	0.115556	+0.0832	**+2.6455**
174	0.137931	0.862069	0.026141	0.115556	+0.0224	+0.8559
105	0.133333	0.866667	0.033174	0.115556	+0.0178	+0.5359
669	0.073244	0.926756	0.010073	0.115556	–0.0423	**–4.2006**
240	0.154167	0.845833	0.023309	0.115556	+0.0386	**+1.6565**

Na osnovu uzorka od 161 akcidenta u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+2.6455 koja je veća od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***kritičan rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „zemno ulje“.

Na osnovu uzorka od 174 akcidenta, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „zemno ulje“, vrednost t_2=+0.8559∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 105 akcidenata, logistički podsistem pretovara nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „zemno ulje“, vrednost t_3=+0.5359∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 669 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost t_4=–4.2006 koja je manja od $t_{0.01}$=–2.3264, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „zemno ulje“.

Na osnovu uzorka od 240 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=+1.6565 koja je veća od $t_{0.95}$=+1.6449 i manja od $t_{0.99}$=+2.3264, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „zemno ulje“.

3.3.17. Proračun za opasnu materiju „hlor“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „hlor“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima

proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 174, 46, 37, 80 i 199 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{174}{536} = 0{,}3246 & \frac{46}{536} = 0{,}0858 & \frac{37}{536} = 0{,}0690 & \frac{80}{536} = 0{,}1493 & \frac{199}{536} = 0{,}3713 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „hlor“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 181, 318 i 37 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{181}{536} = 0{,}3377 & \frac{318}{536} = 0{,}5933 & \frac{37}{536} = 0{,}0690 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.59. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „hlor“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.59 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „hlor“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.109622	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.192596	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.022409
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.028981	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.050916	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.005924
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.023310	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.040954	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.004765
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.050401	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.088550	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.010303
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.125372	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.220268	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.025629

U tabeli 3.60. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „hlor“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.60 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „hlor“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	76	88	10	$P(X_1Y_1)=$ 0.1418	$P(X_1Y_2)=$ 0.1642	$P(X_1Y_3)=$ 0.0187
X_2	15	26	5	$P(X_2Y_1)=$ 0.0280	$P(X_2Y_2)=$ 0.0485	$P(X_2Y_3)=$ 0.0093
X_3	2	32	3	$P(X_3Y_1)=$ 0.0037	$P(X_3Y_2)=$ 0.0597	$P(X_3Y_3)=$ 0.0056
X_4	45	22	13	$P(X_4Y_1)=$ 0.0840	$P(X_4Y_2)=$ 0.0410	$P(X_4Y_3)=$ 0.0243
X_5	43	150	6	$P(X_5Y_1)=$ 0.0802	$P(X_5Y_2)=$ 0.2799	$P(X_5Y_3)=$ 0.0112
Σ	181	318	37			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „hlor“ date su u tabeli 3.61.

Tabela 3.61. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „hlor“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
174	0.057471	0.942529	0.017644	0.06903	–0.0116	–0.6551
46	0.108696	0.891304	0.045892	0.06903	+0.0397	+0.8643
37	0.081081	0.918919	0.044874	0.06903	+0.0121	+0.2686
80	0.162500	0.837500	0.041245	0.06903	+0.0935	**+2.2662**
199	0.030151	0.969849	0.012122	0.06903	–0.0389	**–3.2073**

Na osnovu uzorka od 174 akcidenta, logistički podsistem proizvodnje nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „hlor“, vrednost $t_1=-0.6551\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 46 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „hlor“, vrednost $t_2=+0.8643\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 37 akcidenata, logistički podsistem pretovara nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „hlor“, vrednost $t_3=0.2686\in[-1.2816, +1.2816]$.

Na osnovu uzorka od 80 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost $t_4=+2.2662$ koja je veća od $t_{0.95}=+1.6449$ i manja od $t_{0.99}=+2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.95** možemo signifikantno konstatovati ***izuzetno visok rizik*** uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „hlor“.

Na osnovu uzorka od 199 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost $t_5=-3.2073$ koja je manja od $t_{0.01}=-2.3264$, s pragom značajnosti **p=0.99** možemo signifikantno konstatovati ***zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „hlor“.

3.3.18. Proračun za opasnu materiju „azotna kiselina“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „azotna kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 67, 29, 37, 61 i 31 akcident.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{67}{225} = 0{,}2978 & \frac{29}{225} = 0{,}1289 & \frac{37}{225} = 0{,}1644 & \frac{61}{225} = 0{,}2711 & \frac{31}{225} = 0{,}1378 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „azotna kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 146, 67 i 12 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{146}{225} = 0{,}6489 & \frac{67}{225} = 0{,}2978 & \frac{12}{225} = 0{,}0533 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.62. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „azotna kiselina“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.62 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „azotna kiselina“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$	0.193225	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$	0.088672	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$	0.015881
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$	0.083635	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$	0.038380	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$	0.006874
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$	0.106706	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$	0.048968	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$	0.008770
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$	0.175921	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$	0.080731	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$	0.014459
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$	0.089402	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$	0.041027	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$	0.007348

U tabeli 3.63. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „azotna kiselina“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.63 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „azotna kiselina“

	Y_1	Y_2	Y_3						
X_1	42	18	7	$P(X_1Y_1)=$	0.1866	$P(X_1Y_2)=$	0.0800	$P(X_1Y_3)=$	0.0311
X_2	24	3	2	$P(X_2Y_1)=$	0.1066	$P(X_2Y_2)=$	0.0133	$P(X_2Y_3)=$	0.0088
X_3	17	20	0	$P(X_3Y_1)=$	0.0755	$P(X_3Y_2)=$	0.0888	$P(X_3Y_3)=$	0.0000
X_4	48	11	2	$P(X_4Y_1)=$	0.2133	$P(X_4Y_2)=$	0.0488	$P(X_4Y_3)=$	0.0088
X_5	15	15	1	$P(X_5Y_1)=$	0.0666	$P(X_5Y_2)=$	0.0666	$P(X_5Y_3)=$	0.0044
Σ	146	67	12						

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „azotna kiselina“ date su u tabeli 3.64.

Tabela 3.64. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „azotna kiselina“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
67	0.104478	0.895522	0.037369	0.053333	+0.0511	**+1.3686**
29	0.068966	0.931034	0.047054	0.053333	+0.0156	+0.3322
37	0.000000	1.000000	0.000000	0.053333	–0.0533	+∞
61	0.032787	0.967213	0.022801	0.053333	–0.0205	–0.9011
31	0.032258	0.967742	0.031734	0.053333	–0.0211	–0.6641

Na osnovu uzorka od 67 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+1.3686 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „azotna kiselina“.

Na osnovu uzorka od 29 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „azotna kiselina“, vrednost t_2=+0.3322∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 37 akcidenata u logističkom podsistemu pretovara, bez ijednog fatalnog ishoda, s apsolutnim pragom značajnosti **p=1.00** možemo signifikantno konstatovati ***potpuno zanemarljivi rizik*** uticaja logističkog podsistema pretovara na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „azotna kiselina“.

Na osnovu uzorka od 61 akcidenta, logistički podsistem transporta nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „azotna kiselina“, vrednost t_4=–0.9011∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 31 akcidenta, logistički podsistem upotrebe/distribucije nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „azotna kiselina“, vrednost t_5=–0.6641∈[–1.2816, +1.2816].

3.3.19. Proračun za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“

Diskretna raspodela verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima (slučajna promenljiva X) za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije respektivno: 77, 67, 60, 174 i 85 akcidenata.

$$X = \left\{ \begin{matrix} P(X_1) & P(X_2) & P(X_3) & P(X_4) & P(X_5) \\ \frac{77}{436} = 0{,}1766 & \frac{67}{436} = 0{,}1536 & \frac{60}{436} = 0{,}1376 & \frac{174}{436} = 0{,}3372 & \frac{85}{436} = 0{,}1950 \end{matrix} \right\}$$

Diskretna raspodela verovatnoća posledica (slučajna promenljiva Y) za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“ ustanovljena je na osnovu broja akcidenata bez posledica, s povređenima i s fatalnim posledicama respektivno: 237, 179 i 20 akcidenata.

$$Y = \left\{ \begin{matrix} P(Y_1) & P(Y_2) & P(Y_3) \\ \frac{237}{436} = 0{,}5436 & \frac{179}{436} = 0{,}4106 & \frac{20}{436} = 0{,}0458 \end{matrix} \right\}$$

U tabeli 3.65. date su konkretne vrednosti proizvoda verovatnoća za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“ (po modelu tabele 3.3).

Tabela 3.65 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“

$P(X_1)\cdot P(Y_1)=$ 0.095999	$P(X_1)\cdot P(Y_2)=$ 0.072505	$P(X_1)\cdot P(Y_3)=$ 0.008101
$P(X_2)\cdot P(Y_1)=$ 0.083531	$P(X_2)\cdot P(Y_2)=$ 0.063089	$P(X_2)\cdot P(Y_3)=$ 0.007049
$P(X_3)\cdot P(Y_1)=$ 0.074804	$P(X_3)\cdot P(Y_2)=$ 0.056498	$P(X_3)\cdot P(Y_3)=$ 0.006313
$P(X_4)\cdot P(Y_1)=$ 0.183271	$P(X_4)\cdot P(Y_2)=$ 0.138420	$P(X_4)\cdot P(Y_3)=$ 0.015466
$P(X_5)\cdot P(Y_1)=$ 0.105973	$P(X_5)\cdot P(Y_2)=$ 0.080039	$P(X_5)\cdot P(Y_3)=$ 0.008943

U tabeli 3.66. date su konkretne vrednosti verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“ (po modelu tabele 3.4).

Tabela 3.66 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“

	Y_1	Y_2	Y_3			
X_1	43	27	7	$P(X_1Y_1)=$ 0.0986	$P(X_1Y_2)=$ 0.0619	$P(X_1Y_3)=$ 0.0160
X_2	43	22	2	$P(X_2Y_1)=$ 0.0986	$P(X_2Y_2)=$ 0.0504	$P(X_2Y_3)=$ 0.0045
X_3	20	35	5	$P(X_3Y_1)=$ 0.0458	$P(X_3Y_2)=$ 0.0802	$P(X_3Y_3)=$ 0.0114
X_4	99	44	4	$P(X_4Y_1)=$ 0.2270	$P(X_4Y_2)=$ 0.1009	$P(X_4Y_3)=$ 0.0091
X_5	32	51	2	$P(X_5Y_1)=$ 0.0733	$P(X_5Y_2)=$ 0.1169	$P(X_5Y_3)=$ 0.0045
Σ	237	179	20			

Verifikacije statističkih hipoteza o uticaju logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“ date su u tabeli 3.67.

Tabela 3.67. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“

N_i	$p_{ai} = \frac{P(Y_3X_i)}{P(X_i)}$	$q_{ai}=1-p_{ai}$	$\sqrt{\frac{p_{ai}q_{ai}}{N_i}}$	$p_{b3} = P(Y_3)$	$\Delta p_i=p_{ai}-p_{b3}$	$t_i = \frac{\Delta p_i\sqrt{N_i}}{\sqrt{p_{ai}q_{ai}}}$
77	0.090909	0.909091	0.032761	0.045872	+0.0450	**+1.3747**
67	0.029851	0.970149	0.020790	0.045872	–0.0160	–0.7706
60	0.083333	0.916667	0.035681	0.045872	+0.0375	+1.0499
147	0.027211	0.972789	0.013419	0.045872	–0.0187	**–1.3906**
85	0.023529	0.976471	0.016441	0.045872	–0.0223	**–1.3589**

Na osnovu uzorka od 77 akcidenata u logističkom podsistemu proizvodnje, za ustanovljenu vrednost t_1=+1.3747 koja je veća od $t_{0.90}$=+1.2888 i manja od $t_{0.95}$=+1.6449, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***visok rizik*** uticaja logističkog podsistema proizvodnje na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „hlorovodonična kiselina“.

Na osnovu uzorka od 67 akcidenata, logistički podsistem skladištenja nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“, vrednost t_2=–0.7706∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 60 akcidenata, logistički podsistem pretovara nema uticaj na ishod fatalnih posledica od akcidenta za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“, vrednost t_3=+1.0499∈[–1.2816, +1.2816].

Na osnovu uzorka od 147 akcidenata u logističkom podsistemu transporta, za ustanovljenu vrednost t_4=–1.3906 koja je veća od od $t_{0.05}$=–1.6449 i manja od $t_{0.10}$=–1.2888, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***nizak rizik*** od uticaja logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „hlorovodonična kiselina“.

Na osnovu uzorka od 85 akcidenata u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije, za ustanovljenu vrednost t_5=–1.3589 koja je veća od od $t_{0.05}$=–1.6449 i manja od $t_{0.10}$=–1.2888, s pragom značajnosti **p=0.90** možemo signifikantno konstatovati ***nizak rizik*** od uticaja logističkog podsistema upotrebe/distribucije na ishode fatalnih događaja pri akcidentu opasne materije „hlorovodonična kiselina.

4. PRIMENA BAJESOVE TEOREME U PRORAČUNU APRIORI VEROVATNOĆA AKCIDENATA U LOGISTIČKIM PODSISTEMIMA

4.1. Proračun raspodela *aposteriori* verovatnoća akcidenata po logističkim podsistemima i kvalitativnim posledicama

U dosadašnjoj analizi ustanovljeno je da se akcidenti s opasnim materijama mogu pojaviti u pet logističkih podsistema. Deklarisani logistički podsistemi su proizvodnja, skladištenje, pretovar, transport i upotreba/distribucija. Podaci iz baze FACTS sistematizovani su po logističkim podsistemima. Međutim, ovi podaci predstavljaju „aposteriori“ verovatnoće, što je već nekoliko puta konstatovano u prethodnim poglavljima.

Za usvojene oznake akcidenta „A“ i sa P(A) verovatnoću događaja akcidenta (u deklarisanim jedinicama akcident/tona) i sa „H_i“ (deo 3.1) hipoteze raspodele izabrane opasne materije po logističkim podsistemima, i njima pripadajućim verovatnoćama $P(H_i)$, u skladu s formulom totalne verovatnoće i logičkom činjenicom da se opservirana opasna materija mora nalaziti u jednom i isključivo samo jednom logističkom podsistemu, verovatnoće navedenih hipoteza čine potpun sistem događaja:

$$P(H_1)+P(H_2)+P(H_3)+P(H_4)+P(H_5)=1 \qquad \ldots\ldots (4.1)$$

Za potpunu primenu Bajesove teoreme, neophodni su podaci o uslovnim *apriori* verovatnoćama pojave akcidenata u logističkim sistemima:

$$P(A/H_i)=\frac{P(AH_i)}{P(H_i)} \qquad \ldots\ldots (4.2)$$

ili uslovnim *apostreriori* verovatnoćama učešća logističkih sistema u realizovanim akcidentima:

$$P(H_i/A)=\frac{P(H_iA)}{P(A)} \qquad \ldots\ldots (4.3)$$

Elementaran odnos uslovnih verovatnoća i verovatnoća proizvoda događaja:

$$P(H_iA)=P(AH_i) \Leftrightarrow P(H_i/A)\cdot P(A)=P(A/H_i)\cdot P(H_i) \qquad \ldots\ldots (4.4)$$

Saglasno formuli totalne verovatnoće o odnosu nezavisnih hipoteza raspodele opasne materije po logističkim podsistemima (preuzeto q.3):

$$P(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5) = P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) + P(H_4) + P(H_5) = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.5)$$

I verovatnoći proizvoda događaja hipoteza raspodele u logističkim podsistemima i akcidenta:

$$P(A) = P(AH_1) + P(AH_2) + P(AH_3) + P(AH_4) + P(AH_5) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.6)$$

Primenom (4.3) dobija se da je:

$$P(H_i / A) = \frac{P(H_i A)}{P(A)} = \frac{P(H_i A)}{P(AH_1) + P(AH_2) + P(AH_3) + P(AH_4) + P(AH_5)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.7)$$

Na osnovu Bajesove teoreme, primenom (4.3) aposteriorni uslovni rizici imaju sumu jednaku 1:

$$\sum_{i=1}^{5} P(H_i / A) = \frac{P(H_1 A)}{P(A)} + \frac{P(H_2 A)}{P(A)} + \frac{P(H_3 A)}{P(A)} + \frac{P(H_4 A)}{P(A)} + \frac{P(H_5 A)}{P(A)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.8)$$

Daljim sređivanjem (4.8) a na osnovu (4.5) i (4.6) dobija se da:

$$\sum_{i=1}^{5} P(H_i / A) = \frac{P(A) P(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5)}{P(A)} = \frac{P(A) \cdot 1}{P(A)} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.9)$$

Time je dokazano dokazano da su statistički podaci *aposteriori* verovatnoće. Verovatnoće *apriori* definisane na osnovu obrasca (4.2) mogu se pronaći na osnovu verovatnoća *aposteriori* jer je na osnovu (4.4):

$$P(A / H_i) = \frac{P(AH_i)}{P(H_i)} = \frac{P(A) \cdot P(H_i / A)}{P(H_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.10)$$

Saglasno činjenici da će svaka proizvedena tona u proizvodnji biti skladištena, pretovarena, transportovana i upotrebljena, za neke opasne materije verovatnoće navedenih hipoteza $P(H_i)$ se mogu pretpostaviti i približno su jednake:

$$P(H_1) \approx P(H_2) \approx P(H_3) \approx P(H_4) \approx P(H_5) \approx 0{,}20 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.11)$$

Međutim, mora se uzeti u obzir da predloženi koncept ne mora da važi za sve opasne materije. Na primer, veliki broj industrijskih kombinata ima sopstvenu proizvodnju sumporne kiseline, kao na primer RTB Bor u Srbiji. Velika količina proizvodnje ove opasne materije se ne uvodi u logistički podsistem transporta nego ima svoju procesnu ulogu, a interni transfer unutar radnih jedinica se obavlja internim pretovarom. Takođe treba istaći primer za proizvodnju vodonika. Oko 53% proizvedenog vodonika na svetskom nivou se koristi u daljoj proizvodnji amonijaka. Zbog toga, postrojenja hemijske industrije za finalnu proizvodnju amonijaka u svom sklopu po

pravilu sadrže postrojenja za proizvodnju vodonika. Najveći deo vodonika se ne pojavljuje u javnom transportu, nego se transfer obavlja cevnim sistemima u logističkom podsistemu pretovara. Takođe, veliki deo proizvedenog vodonika se ne skladišti, već se direktno iz jednog proizvodnog procesa uvodi u drugi. Slično se događa s proizvodnjom vodonika u rafinerijskim procesima produkcije visokooktanskog goriva u procesu hidrogenizacije. Procena je da oko 20% svetske proizvodnje vodonika participira u proizvodnji goriva, bez uvođenja u javni transport. S druge strane, fluorovodonična kiselina ima izuzetno značajnu primenu u elektronskoj industriji, koja je i njen dominantni potrošač. Do sada nije zabeležen slučaj da se u okviru postrojenja elektronske industrije nalazi procesna jedinica za proizvodnju fluorovodonične kiseline sa skladištima neophodnih sirovina minerala kalcijum–fluorida i sumporne kiseline. Fluorovodonična kiselina se obavezno doprema i u potpunosti prolazi kroz sve logističke podsisteme s visokom saglasnosti jednačine (4.11)

4.2. Primer fluorovodonične kiseline

Za evidentiranih N=101 akcidenata baze FACTS u 35-o godišnjem periodu, pod pretpostavkom da je ukupan broj akcidenata opasne materije fluorovodonične kiseline u svetu u velikoj meri saglasan s uzorkom baze FACTS, za prosečnu godišnju proizvodnju fluorovodonične kiseline od oko 2,000,000.00 tona, dobija se verovatnoća akcidenta po toni:

$$P(A)_{HFkis} = \frac{n_{facts(HFkis)}}{35 \cdot P_{HFkis}} = \frac{101}{35 \cdot 2{,}000{,}000} = 1{,}4428 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.12)$$

Za fluorovodoničnu kiselinu može se usvojiti odnose jednačine (4.11), tj. da svaka proizvedena tona mora biti skladištena (neposredno posle proizvodnje pre pretovara ili pre upotrebe u daljim procesima), pretovarena (posle proizvodnje ili pre upotrebe), transportovana i upotrebljena, pa su verovatnoće hipoteza usvojene i jednake:

$$P(H_1) = P(H_2) = P(H_3) = P(H_4) = P(H_5) = 0{,}20 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.13)$$

U skladu s utvrđenim raspodelama akcidenata u logističkim podsistemima navedenim u 3.3.6., *aposteriori* uslovne verovatnoće za fluorovodoničnu kiselinu imaju sledeće vrednosti:

- Za logistički podsistem proizvodnje: $P(H_1 / A) = 0{,}3663$
- Za logistički podsistem skladištenja: $P(H_2 / A) = 0{,}0990$
- Za logistički podsistem pretovara: $P(H_3 / A) = 0{,}0792$
- Za logistički podsistem transporta: $P(H_4 / A) = 0{,}2673$
- Za logistički podsistem upotrebe: $P(H_5 / A) = 0{,}1881$

Primenom obrasca (4.10) dobijamo verovatnoće *apriori*za fluorovodoničnu kiselinu proračunate u (4.14) do (4.18):

$$P(A/H_1)=\frac{P(A)P(H_2/A)}{P(H_2)}=\frac{1{,}4428\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}3663}{0{,}2}=2{,}6425\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad .....(4.14)$$

$$P(A/H_2)=\frac{P(A)P(H_2/A)}{P(H_2)}=\frac{1{,}4428\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}0990}{0{,}2}=0{,}7067\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad .....(4.15)$$

$$P(A/H_3)=\frac{P(A)P(H_3/A)}{P(H_3)}=\frac{1{,}4428\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}0792}{0{,}2}=0{,}5654\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad .....(4.16)$$

$$P(A/H_4)=\frac{P(A)P(H_4/A)}{P(H_4)}=\frac{1{,}4428\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}2673}{0{,}2}=1{,}9083\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad .....(4.17)$$

$$P(A/H_5)=\frac{P(A)P(H_5/A)}{P(H_5)}=\frac{1{,}4428\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}1881}{0{,}2}=1{,}3428\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad .....(4.18)$$

tj. na milon tona u proizodnji može se očekivati oko 2,6425 akcidenata u toku godine, na milion uskladištenih tona može se očekivati oko 0,7065 akcidenata u toku godine, na milion pretovarenih tona može se očekivati oko 0,5654 akcidenta u toku godine, na milion transportovanih tona može se očekivati oko 1,9083 akcidenta u toku godine i na milion upotrebljenih tona može se očekivati oko 1,3428 akcidenta u toku godine. Navedene akcidente treba pomnožiti s verovatnoćama da se tona opasne materije fluorovodonične kiseline nalazi u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije po obrascu (q.15). Prilikom protoka fluorovodonične kiseline kroz logističke podsisteme, na svetskom nivou može se očekivati sledeće ukupne apriorne verovatnoće:

$$\sum_{i=1}^{5} P(A/H_i)=2{,}6425+0{,}7067+0{,}5654+1{,}9083+1{,}3428=7{,}1658\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad ...(4.19)$$

Verovatnoće (4.12) i (4.19) ne smeju se poistovećivati. Njihov odnos je egzaktno matematički definisan sa (4.4) i (4.6). Množenjem suma *apriori* verovatnoća (4.19) s ravnomernim verovatnoćama hipoteza (4.13) dobija se verovatnoća (4.12).

4.3. Primer opasne materije – vodonik

Iako najjači energent s izrazitim eksplozivnim svojstvima, na listi rizika od akcidenata s fatalnim posledicama vodonik nije zauzeo očekivanu visoku poziciju. Sigurno da je primarno shvatanje beskompromisne opasnosti od vodonika odigralo značajnu ulogu kako u ustanovljenim protokolima, tako i investicijama u opremu logističkih podsistema. Visoke investicije su svakako korelativne s visokom jediničnom cenom ovog kurentnog proizvoda.

Međutim, ima još jedan značajan faktor u relativno niskoj, neproporcionalnoj pouzdanosti vodonika u logističkom lancu od proizvodnje do potrošnje. Za procenjenu godišnju proizvodnju od oko 50 000 000.00 tona, oko 53% ili 26 500 000.00 tona se upotrebljava za proizvodnju druge opasne materije – amonijaka, oko 20% ili 10 000 000.00 tona u rafinerijskim procesima za proizvodnju opasnih materija visokooktanskog goriva – dominantno benzina, i 7% ili
3 500 000.00 tona za proizvodnju opasne materije metanola. Ukupno, oko 40 000 000.00 tona svetske proizvodnje vodonika se direktno po kraju proizvodnog procesa uvodi u naredni proizvodni proces cevnim transferom koji se ne može svrstati u cevni transport, već predstavlja jednu od faza proizvodnog procesa. Kroz logističke podsisteme skladištenja, pretovara i transporta prolazi aproksimativno oko petina svetske proizvodnje ili oko
10 000 000.00 tona. To znači da raspodela po hipotezama navedenim u jednačini (4.1) nije ravnomerna kao kod fluorovodonične kiseline predstavljene sa (4.13). Verovatnoća da se proizvedena tona vodonika nađe u podsistemu skladištenja, pretovara ili transporta približno je jednaka i proporcionalna količini od $10 \cdot 10^6$ u odnosu na ukupnu svetsku proizvodnju od $10 \cdot 10^6$ a verovatnoće pojave vodonika u podsistemu proizvodnje i upotrebe/potrošnje su približno jednake i pet puta veće od verovatnoće pojave vodonika u podsistemima skladištenja, pretovara i transporta. Saglasno (4.1) verovatnoće hipoteza moraju ispunjavati uslove (4.20):

$$\frac{P(H_1)}{5} = P(H_2) = P(H_3) = P(H_4) = \frac{P(H_5)}{5} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.20)$$

Uz obavezan normirajući uslov (4.1) vrednosti verovatnoća hipoteza su (4.21):

$$P(H_2) = P(H_3) = P(H_4) \approx 0{,}0768 \qquad P(H_5) = P(H_5) \approx 0{,}3848 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.21)$$

U skladu s utvrđenim raspodelama akcidenata u logističkim podsistemima navedenim u 3.3.9., *aposteriori* uslovne verovatnoće za vodonik imaju sledeće vrednosti:

- Za logistički podsistem proizvodnje: $P(H_1 / A) = 0{,}6283$
- Za logistički podsistem skladištenja: $P(H_2 / A) = 0{,}0855$
- Za logistički podsistem pretovara: $P(H_3 / A) = 0{,}0236$
- Za logistički podsistem transporta: $P(H_4 / A) = 0{,}0619$
- Za logistički podsistem upotrebe: $P(H_5 / A) = 0{,}2006$

Za evidentiranih N=338 akcidenata baze FACTS u 35-o godišnjem periodu, pod pretpostavkom da je ukupan broj akcidenata opasne materije vodonika u svetu u velikoj meri saglasan s uzorkom baze FACTS, za prosečnu godišnju proizvodnju vodonika od oko
50 000 000.00 tona, dobija se verovatnoća akcidenta po toni:

$$P(A)_H = \frac{n_{facts(H)}}{35 \cdot P} = \frac{339}{35 \cdot 50{,}000{,}000.00} = 0.1937 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.22)$$

Primenom obrasca (4.10) dobijamo verovatnoće *apriori* za vodonik koje su proračunate u (4.23. do 4.27)

$$P(A/H_1) = \frac{P(A)P(H_1/A)}{P(H_1)} = \frac{0.1937 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}6283}{0{,}3848} = 0{,}3162 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots\ldots\ldots(4.23)$$

$$P(A/H_2) = \frac{P(A)P(H_2/A)}{P(H_2)} = \frac{0.1937 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}0855}{0{,}0768} = 0{,}2157 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots\ldots\ldots(4.24)$$

$$P(A/H_3) = \frac{P(A)P(H_3/A)}{P(H_3)} = \frac{0.1937 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}0236}{0{,}0768} = 0{,}0595 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots\ldots\ldots(4.25)$$

$$P(A/H_4) = \frac{P(A)P(H_4/A)}{P(H_4)} = \frac{0.1937 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}0619}{0{,}0768} = 0{,}1562 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots\ldots\ldots(4.26)$$

$$P(A/H_5) = \frac{P(A)P(H_5/A)}{P(H_5)} = \frac{0.1937 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}2006}{0{,}3848} = 0{,}1009 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots\ldots\ldots(4.27)$$

tj. na milion tona u proizvodnji može se očekivati oko 0,3162 akcidenta u toku godine, na milion uskladištenih tona može se očekivati oko 0,2157 akcidenata u toku godine, na milion pretovarenih tona može se očekivati oko 0,0595 akcidenata u toku godine, na milion transportovanih tona može se očekivati oko 0,1562 akcidenta u toku godine i na milion upotrebljenih tona može se očekivati oko 0,1009 akcidenata u toku godine. Navedene akcidente treba pomnožiti s verovatnoćama da se tona opasne materije odonika nalazi u podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije po obrascu (4.21). Prilikom protoka vodonika kroz logističke podsisteme, na svetskom nivou možemo očekivati sledeće ukupne apriorne verovatnoće:

$$\sum_{i=1}^{5} P(A/H_i) = 0{,}3162 + 0{,}2157 + 0{,}0595 + 0{,}1562 + 0{,}1009 = 0{,}8487 \cdot 10^{-6} \frac{\text{akcident}}{\text{tona}} \quad \ldots(4.28)$$

Verovatnoće (4.22) i (4.28) takođe se ne smeju poistovećivati. Njihov odnos je isto egzaktno matematički definisan sa (4.4) i (4.6). Množenjem suma *apriori* verovatnoća (4.28) s neravnomerno raspodeljenim verovatnoćama hipoteza dobijenih na osnovu (4.20 i 4.21) dobija se verovatnoća (4.28).

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

5.1. Diskusija

Pre završnog razmatranja raspodele rizika u logističkim sistemima, moraju se napomenuti dve činjenice koje ograničavaju analizu:

1. Za svaki logistički podsistem odabrane opasne materije razmatranje rizika je izvedeno isključivo na kvalitativnom nivou, komplementarnim konceptom: broj fatalnih ishoda je primarni faktor koji isključuje broj povređenih ili akcidente bez posledica po život i zdravlje radnika i ostalih lica. Ne razmatra se kvantitativni nivo – broj nastradalih po akcidentu,
2. Odabrane opasne materije nemaju ustanovljene raspodele tokova kroz logističke podsisteme.

Za potrebe izvođenja zaključka, izvedena je sistematizacija rezultata iz tabela 3.7, 3.10, 3.13, 3.16, 3.19, 3.25, 3.28, 3.31, 3.34, 3.37, 3.40, 3.43, 3.49, 3.52, 3.55, 3.58. i 3.61. Prikaz je dat u 5.1.

Generalno, za 19 izabranih opasnih materija (tabela 2.1) i 5 logističkih podsistema za svaku opasnu materiju, analiza rizika je izvršena u 95 logističkh podsistema.

- U 22 analizirana podsistema od 95 ustanovljen je statistički signifikantan rizik ishoda od fatalnih događaja po akcidentu. Izražen rizik od fatalnih posledica po akcidentu ima 23,15% logističkih podsistema. .
- U 42 logistička podsistema (≈50%) nije signifikantno istaknut rizik ishoda od fatalnih događaja po akcidentu.
- U 21 logističkom podsistemu ustanovljen je signifikantno smanjen rizik od ishoda od fatalnih događaja po akcidentu.

U 10 logističkih podsistema analiza se nije mogla izvršiti zbog malog broja akcidenata (N≤12). Ovaj statistički insuficijentan podskup se može razmatrati po više osnova.

- U slučajevima kada je ukupan broj akcidenata svih logističkih sistema za izabranu opasnu materiju mali a pri raspodeli po logističkim podsistemima dobija se još manji uzorak, zaključak se mora odložiti. Npr. u logističkom sistemu opasne materije „poliuretan“ evidentiran je 61 akcident a u podsistemu pretovara ove opasne materije nije ustanovljen niti jedan akcident.
- U slučaju kada je uzorak dovoljno veliki a broj akcidenata u nekom logističkom podsistemu insuficijentan, može se pretpostaviti da je podsistem inicijalno pouzdan, ali se konačan zaključak takođe takođe mora odložiti. To je primer opasne materije „kiseonik“. Za 270 akcidenata logističkog sistema, u podsistemu pretovara ove opasne materije je evidentirano svega 8 akcidenata.

- U pojedinim slučajevima nema jasne granice između logističkih podsistema. To je slučaj npr. opasne materije „prirodni gas“. Iako je uzorak akcidenata logističkog sistema ove opasne materije najbrojniji sa 1 808 akcidenata, u podsistemu pretovara su evidentirana svega 4 akcidenta. Međutim, treba imati u vidu da je za ovu opasnu materiju dominantan cevni transport na koga je raspodeljen 1 131 akcident. Sistemi transporta i pretovara u slučaju ove opasne materije nemaju uvek jasnu distinkciju.

Treba napomenuti da je od navedenih slučajeva, 8 ustanovljeno u logističkom podsistemu pretovara, podsistema s dinamičkim zahvatom relativno malih količina u jedinici vremena. Sintetički prikaz rizičnih i pouzdanih logističkih podsistema za sve odabrane opasne materije dat je u tabeli 5.1.

Table 5.1. Sistematizacija rezultata proračuna rizika logističkih podsistema za izabrane opasne materije

No.	**Opasna materija**	**Logistički podsistem**				
		Proizvodnja	**Skladištenje**	**Pretovar**	**Transport**	**Upotreba/ distribucija**
1.	Eksplozivi	+2.4845	+0.5644		–2.4867	–1.3248
2.	Kiseonik	–1.4577	–2.4452		–0.1903	+1.4635
3.	Metan	–3.3557	+0.2500		+0.8004	+1.3837
4.	Poliuretan	–3.2704	–0.6796		–0.0568	+1.8122
5.	Pogonski benzin	–1.9795	–3.0123	–2.6043	+3.0066	–0.0413
6.	Fluorovodonična kiselina	–0.7522			–2.0918	+2.5203
7.	Metanol	+0.1523	+0.5324	+0.3499	–2.5728	+1.7566
8.	TNG	+1.4476	–0.4701	+0.8554	+1.2112	–2.0770
9.	Vodonik	–0.5258	+0.2691			+0.6213
10.	Prirodni gas	+14.6334	+1.9531		+4.6054	+31.0636
11.	Etanol	–1.0445	–1.2753		–0.4974	+0.6233
12.	Dizel gorivo	+0.8038	–2.2200	–0.8856	+0.4343	+0.9231
13.	Amonijak dehidriran	–0.6775	–0.4364	+1.7585	–0.2654	–0.4386
14.	Amonijak	+1.4546	+0.7169	+1.6234	–0.1010	–2.4642
15.	Sumporna kiselina	+1.5162	–0.5275	–2.0829	–1.4002	+1.3417
16.	Zemno ulje	+2.6455	+0.8559	+0.5359	–4.2006	+1.6565
17.	Hlor	–0.6551	+0.8643	+0.2686	+2.2662	–3.2073
18.	Azotna kiselina	+1.3686	+0.3322	–∞	–0.9011	–0.6641
19.	Hlorovodonična kiselina	+1.3747	–0.7706	+1.0499	–1.3906	–1.3589

Analiza rizika za 19 izabranih opasnih materija po logističkim podsistemima je sledeća:

- U logističkom podsistemu proizvodnje za 8 opasnih materija ustanovljen je signifikantno visok rizik, za 5 opasnih materija nije signifikantno istaknut rizik, a za 4 opasne materije je ustanovljen signifikantno nizak rizik od fatalnih ishoda po akcidentnu,
- U logističkom podsistemu skladištenja za 1 opasnu materiju ustanovljen je signifikantno visok rizik, za 14 opasnih materija nije signifikantno istaknut rizik, za 3 opasne materije ustanovljen je signifikantno nizak rizik od fatalnih ishoda po akcidentnu, a u jednom slučaju izostaje zaključak zbog insuficijentnosti statističkog skupa,
- U logističkom podsistemu pretovara za 2 opasne materije ustanovljen je signifikantno visok rizik, za 9 opasnih materija nije signifikantno istaknut rizik, za 3 opasne materije je ustanovljen signifikantno nizak rizik od fatalnih ishoda po akcidentu, a u 8 slučajeva izostaje zaključak zbog insuficijentnosti statističkog skupa,
- U logističkom podsistemu transporta za 1 opasnu materiju ustanovljen je signifikantno visok rizik, za 14 opasnih materija nije signifikantno istaknut rizik, za 6 opasnih materija ustanovljen je signifikantno nizak rizik od fatalnih ishoda po akcidentnu, a u jednom slučaju izostaje zaključak zbog insuficijentnosti statističkog skupa,
- U logističkom podsistemu upotrebe/distribucije 8 opasnih materija ustanovljen je signifikantan visok rizik, za 5 opasnih materija nije signifikantno istaknut rizik, a za 4 opasne materije ustanovljen je signifikantno nizak rizik od fatalnih ishoda po akcidentnu.

Logistički podsistemi proizvodnje i upotrebe/distribucije su rizični za isti broj opasnih materija, 8 od izabranih 19. Međutim, postoji značajna, gotovo inverzna razlika između ova dva logistička podsistema.

Po svemu karakteristična opasna materija „eksplozivi“ ima neuporedivo najveći rizik od fatalnih ishoda od akcidenta s verovatnoćom od $p=0.6412$. S pragom značajnosti $p>0.99$, može se konstatovati da je kritičan rizik ustanovljen u logističkom podsistemu proizvodnje. On je po riziku neuporediv s ostalim opasnim materijama.

Posle „eksploziva“ dolazi serija opasnih materija s verovatnoćom fatalnih ishoda po akcidentu u intervalu $0.2 \leq p \leq 0.3$. To su:

1. „kiseonik“, s verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od $p=0.3555$,
2. „metan“, s verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od $p=0.3508$,
3. „poliuretan“, s verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od $p=0.3442$,
4. „pogonski benzin“, s verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od $p=0.3293$.

Njihov visok rizik od fatalnih ishoda pri akcidentu je očigledno dobro prepoznat u logističkom podsistemu proizvodnje. Sve četiri navedene opasne materije imaju izraženo pouzdan logistički podsistem proizvodnje. Standardizovana slučajna promenljiva (vidi 3.17) normalne raspodele ima respektivno vrednosti $t=-1.4577$ (za kiseonik), $t=-3.3557$ (za metan), $t=-3.2704$ (za poliuretane) i $t=-1.9795$ (za pogonski benzin).

Logistički podsistem upotrebe/distribucije ima potpuno inverzne rezultate. U ovom podsistemu ustanovljen je signifikantno mali rizik fatalnih posledica od akcidenta opasne materije „eksploziv“.

Za razliku od opasnih materija „kiseonik“, „metan“ i „poliuretan“, koji u logističkom sistemu proizvodnje imaju signifikantno mali rizik, ustanovljen je visok rizik fatalnih posledica od akcidenta od „najopasnijih“ materija: standardizovana slučajna promenljiva normalne raspodele ima respektivno vrednosti t=+1.4635 (za kiseonik), t=+1.3837 (za metan), t=+1.8122 (za poliuretane). Očigledno da rizik za opasne materije s najvećim rizikom od fatalnih događaja nije dobro prepoznat u logističkom podsistemu upotrebe/distribucije. Opasna materija „pogonski benzin“ nije pokazala povišen rizik, ali se niz visokog rizika nastavlja zato što opasne materije koje se po redosledu rizika nalaze odmah posle „pogonskog benzina“:

- „fluorovodonična kiselina“ s verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od p=0.2376,
- „metanol“ s verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od p=0.2121

imaju signifikantno visok rizik fatalnog ishoda po akcidentu s respektivnim vrednostima standardizovane slučajne promenljive: t=+2.5203 (za fluorovodoničnu kiselinu) i t=1.7566 (za metanol).

Kritični deo logističkog podsistema proizvodnje su opasne materije koje se nalaze na začelju rangirano po vrednostima verovatnoće fatalnog ishoda po akcidentu (respektivno s vrednostima verovatnoće i standardizovane slučajne promenljive):

- amonijak: p=0.1414, t=+1.4546,
- sumporna kiselina: p=0.1300, t=+1.5162,
- zemno ulje: p=0.1156, t=+2.6455,
- azotna kiselina: p=0.0533, t=+1.3686,
- hlorovodonična kiselina: p=0.0459, t=+1.3747.

Značajno je navesti da je proizvodnja tri najvažnije industrijske kiseline (sumporna, azotna i hlorovodoniča) rizična za logistički podsistem proizvodnje. Očigledno da je sinteza, stabilizacija i koncentracija velikih količina kiselina rizična za proizvodnju.

Po dobijenim nalazima, logistički podsistem skladištenja je najpouzdaniji logistički sistem. Treba navesti da se u izabranim opasnim materijama nalaze amonijak, zemno ulje, najvažniji energenti (pogonski benzin, dizel gorivo, prirodni gas), alkoholi (metanol i etanol) i industrijske kiseline (sumporna, azotna i hlorovodonična), koje uz izabrani hlor i TNG čine preko 70% kvantiteta svetskog prometa opasnih materija u svim logističkim podsistemima. Zbog toga, iz dobijenih rezultata može se zaključiti da je svetski sistem opasnih materija najpouzdaniji logistički podsistem. Međutim, ako se uzme u obzir kvantitet, posebno domino-efekti, razorna moć velike koncentracije opasnih materija u skladištima otkriva svoju drugu stranu. Podsistem skladištenja je jedino rizičan za opasnu materiju „prirodni gas“.

Međutim, ova opasna materija ima izrazito negativne rezultate u svim logističkim podsistemima (u podsistemu pretovara ima insuficijentan statistički skup), pa je komparativno i u tom smislu najmanje rizično skladištenje „prirodnog gasa“ s vrednosti standardizovane slučajne promenljive od t=+1.9531, donekle komparabilne za logistički podsistem transporta s višim rizikom opisanim kroz vrednost standardizovane slučajne promenljive t=+4.6054 neuporedivim vrednostima kritičnog rizika proizvodnje i upotrebe/distribucije „prirodnog gasa“, uopšte najvećih vrednosti rizika, respektivno: t=+14.6334 i t=+31.0636.

Logistički podsistem pretovara ima izraženu insuficijenciju podataka, koja je moguća posledica načina vođenja ekspertize akcidenata. Treba imati u vidu da se opasne materije najkraće zadržavaju upravo u sistemu pretovara. Svakako da je za ovaj logistički podsistem potrebno izvršiti dodatnu analizu. Ipak, jedinstveni rezultat koji ima veliki praktični značaj nije izostao. Srodne opasne materije „amonijak“ i „amonijak dehidrirani“ imaju gotovo istovetan rizik upravo u logističkom podsistemu pretovara.

Logistički podsistem transporta ima umereni rizik. Ako se izuzme već opservirana opasna materija „prirodni gas“ s dominacijom cevnog transporta, ostaju problemi transporta opasne materije „pogonski benzin“ i „hlor“. Poseban problem je detaljnija analiza benzina koja je istakla drumski transport kao bazu visokog rizika. Od 844 akcidenta opasne materije „pogonski benzin“, 446 (52,84%) realizovano je u logističkom podsistemu transporta. Od toga 254 akcidenta (56,95% u okviru podsistema transporta ili 30,09% u celom logističkom sistemu) realizovano je u drumskom transportu s visokom verovatnoćom fatalnog ishoda po akcidentu od p=0.4488 i vrednosti standardizovane slučajne promenljive t=+1.5930 (tabela 3.22). Ova separatna verovatnoća je izrazito visoka i svrstava drumski prevoz opasne materije „pogonski benzin“ u jedan od najrazličitijih logističkih koncepata. Ustanovljeni zaključak ima poseban značaj ako se podsetimo sistema snabdevanja pumpi u gradskim jezgrima koja se mogu izvršiti isključivo drumskim transportom!

Dok je drumski transport opasne materije „pogonski benzin“ najzaslužniji za visok rizik, logistički podsistem transporta opasne materije „dizel gorivo“ nije istakao rizik od fatalnih ishoda pri akcidentu. Međutim, ovaj rizik je „statistički“ kompenzovan. Detaljnije istraživanje rezultira signifikantnim rizikom u železničkom prevozu „dizel goriva“ s vrednostima verovatnoće fatalnih ishoda pri akcidentu od p=0.2562 i vrednosti standardizovane slučajne promenljive t=+2.3256 (tabela 3.46).

5.2. Zaključak

Istraživanje rizika od akcidentnih situacija opasnih materija zasnovano na osnovnim principima zaštite na radu sadržano u „zaštiti života i zdravlja“ operatera-radnika i drugih lica i raspodelom rada u univerzalnoj celini – logističkom sistemu s podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije, potvrdilo je sve postavljene hipoteze:

- Prva hipoteza se odnosila na egzistenciju signifikantne razlike na kvalitativnom nivou osnovnih rizika od akcidenata između logističkih podsistema – generalno. Hipoteza je potvrđena činjenicom da se za svih 19 izabranih opasnih materija može izdvojiti logistički podsistem visokog rizika (sistematizacija rezultata u tabeli 5.1). Pri tom, ustanovljeno je da su logistički podsistemi proizvodnje i distribucije/upotrebe, tj. potrošnje logistički podsistemi s najvišim rizikom, a logistički podsistem skladištenja je najbezbedniji.
- Druga hipoteza se odnosila na komparaciju rizika za opasne materije različitih razreda opasnosti. Ova hipoteza je postavljena kao rezervna u slučaju da se u prvoj hipotezi ne ustanove signifikantne razlike između logističkih podsistema. Kako se u 19 izabranih opasnih materija nalaze opasne materije razreda I, II, III, IV, VI i VIII (skoro svih razreda i podrazreda) ustanovljene signifikantne razlike samom gradacijom rizika (tabela 2.1) koji je ujedno definisao redosled analize izabranih opasnih materija, potvrđena je i druga hipoteza.
- Treća hipoteza o odnosu rizika od akcidenata opasnih materija istih razreda opasnosti, takođe je potvrdila signifikantne razlike u kvalitativnom nivou osnovnih rizika od akcidentnih situacija u logističkom podsistemu transporta. U praktičnom smislu potvrda ove hipoteze ima izuzetan značaj u svakodnevnom životu i ekonomiji svih država. Veliki broj akcidenata opasnih materija „prirodni gas“ i „pogonski benzin“ obrazložen je velikim protokom kroz logističke podsisteme. Međutim, detaljna analiza proistekla iz treće hipoteze nedvosmisleno, statistički signifikantno potvrđuje kvalitativni uzrok visokog rizika. Taj uzrok se ne nalazi u prirodi opasnih materija nego u sistemima transporta!

Sa stanovišta zaštite na radu mogu se izneti još mnogi generalizovani i specifični zaključci.

Najvažniji generalizovani zaključak se odnosi na logistički sistem upotrebe/distribucije. Izrazito visok rizik u ovom podsistemu zasnovan je na disperzivnoj prostorno-vremenskoj distribuciji opasnih materija. Njihovi korisnici mogu biti specijalizovane osobe ali i stanovništvo. Jedinstveni zaključak je da se u ovom podsistemu mora podići nivo saznanja o svim pretećim karakteristikama opasnih materija. Visok rizik u podsistemu upotrebe/distribucije posledica je niskog nivoa znanja iz kojeg proističe neadekvatna i neoprezna upotreba opasnih materija, koja uvek i neminovno dovodi do neželjenih akcidenata.

Mnogobrojni specifični zaključci se mogu izneti, a mnogi od njih predstavljaju posebnu novinu u istraživanju rizika opasnih materija.

Opasna materija „esploziv“ očekivano je na pijedestalu rizika sa svim svojim karakteristikama koje su je namenski i izdvojile u poseban razred, i pritom u I grupu, simbolično.

Neočekivano i do sada neobjavljeno, za opasnu materiju „kiseonik“ pokazalo se da je izuzetno rizična. Opasna materija „fluorovodonična kiselina“ takođe je iznad očekivanja iskazala rizik

koji prevazilazi rizik poznatijih industrijskih neorganskih kiselina. Opasna materija „prirodni gas“ sistemski je najrizičnija – svi logistički podsistemi su rizični! Ova činjenica ima nepoželjni značaj ako se uzmu u obzir ekonomski interesi koji indukuju globalne i strateške političke interese vezane za ovaj cenjeni energent.

Prijatno iznenađenje je svakako vezano za opasnu materiju „vodonik“. S obzirom na njegovu visoku zapaljivost i eksplozivnost zasnovanu na maksimalno poznatoj toplotnoj moći, uslove proizvodnje, skladištenja, transporta i distribucije hemijskog elementa najmanje molekularne mase, umeren rizik se svakako može smatrati dobrim rezultatom. Kao gorivo budućnosti, takođe se može smatrati da je razvoj logističkih podsistema za upotrebu vodonika zasnovan na dobrim principima. Za glavne industrijske kiseline se može izreći sličan zaključak. One su po proračunatom riziku svrstane među najmanje rizične, ili među odabranim opasnim materijama imaju bezbedne protoke u logističkim podsistemima.

Svi izvedeni zaključci zasnovani su na aposteriori analizi akcidenata. Kako se akcidenti ne mogu eksperimentalno izvoditi, možgu se osloniti isključivo na postojeće baze akcidenata. Prikazani rezultati su samo jedna od rezultanti vizionarskog uočavanja stručnjaka o neophodnosti permanentne analize akcidenata s ciljem smanjivanja rizika i povećanja ekonomskog benefita neizostavnih opasnih materija – u svim granama ljudske proizvodnje.

Za logističke podsisteme je značajna apriori verovatnoća. U radu je izveden jedan upotrebljiv model zasnovan na Bajesovoj teoremi. Izvršeni proračuni rizika su aproksimativni i revijalni, ali daju novu dimenziju značaja diferencije rizika po logističkim podsistemima. Njihov cilj nije bio da se odrede apriori verovatnoće akcidenata u logističkim podsistemima, nego da se obrazloži predloženi model i time opravda i podstakne nastavak rada na razvoju i u popunjavanju svih baza podataka o realizovanim akcidentima opasnih materija. Ove baze imaju globalan značaj i zbog toga zahtevaju globalno angažovanje. Razmatranje opasnih materija od strane svetske organizacije Ujedinjenih nacija upravo je proporcionalno značaju, i još jednom potvrđeno i kroz ovaj rad.

Osnovni pravci daljeg razvoja modela za ocenu rizika treba da budu usmerena ka kvantitativnom istraživanju rizika, u smislu procene broja fatalnih ishoda i povređenih za izabrane opasne materije. Postojeće baze podataka o akcidentima, pre svega baza FACTS koja je referenta baza u ovom radu, sadrži precizne podatke o broju povređenih i broju fatalnih ishoda za svaki akcident.

Težište analize svih akcidenata u ovom radu je bilo na proračunu rizika po život i zdravlje ljudi. traživane u ovom radu. Treba napomenuti da bi zbog obima istraživanja uvođenje SEVESO II direktiva u analizu posledica od akcidenata prevazišlo očekivane i uobičajene obime rada doktorskih disertacija. Ekološke, socijalne i finansijske posledice od akcidenata u logističkim podsistemima opasnih materija nisu analizirane u ovom radu. Kako su rezultati po logističkim podsistemima pokazali velike razlike u rizicima, možemo očekivati signifikantne razlike u svim oblastima definisanim SEVESO II direktivama.

Takođe, istraživanje treba proširiti na sve opasne materije koje su u 35-to godišnjem periodu imali statistički reprezentativan broj akcidenata. Rad je obuhvatio svega 19 opasnih materija, koje čine između 80% i 90% kvantiteta logistike opasnih materija. Treba napomenuti da je po UN klasifikaciji do sada sistematizovano preko 4000 opasnih materija.

Eventualno, istraživanja treba usmeriti i u oblast opasnih otpada koji se direktno ne sistematizuju u opasne materije. Posledice od akcidenata sa opasnim otpadima do sada definisanih Bazelskom konvencijom uobičajeno nemaju eksplicitno ugrožavanje života i zdravlja ljudi, ali je poznato da socijalne i ekološke posledica prevazilaze posledice od opasnih materija.

Literatura

Abbasi T., Abbasi S.A., The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management, Journal of Hazardous Materials 141, 2007, 489–519

Adriano R. Tonelli, Albert Pham, Bronchiectasis, a long-term sequela of ammonija inhalation: A case report and review of the literature, Burns, Volume 35, Issue 3, May 2009, Pages 451–453.

Amshel C. E., Fealk M. H., Phillips B. J., Caruso D. M., Anhydrous ammonia burns case report and review of the literature, Burns, 26 (5) 2000, 493–497.

Antonioni G., Spadoni G., Cozzani C., A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events, Journal of Hazardous Materials, 147, 2007, 48–59.

Aranđelović, M., Jovanović, J., Medicina rada, Medicinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2009.

Arturson G., The tragedy of San Juanico—the most severe LPG disaster in history, Burns, 13, 1987, 87–102.

Asaria J., Kobusingye O. C., Khingi B. A., Balikuddembe R., Gomez M., Beveridge M., Acid burns from personal assault in Uganda, Burns 30, 2004, 78–81.

Benmeir P., Levine I., Shostak A., Oz V., Shemer J., Sokolova T., The ural train—gas pipeline catastrophe: the report of the IDF medical corps assistance, Burns, 17 (4), 1991, 320–322

Benomran F.A., Hassan A.I., Masood S.S., Accidental fatal inhalation of sulfuric acid fumes, Journal of Forensic and Legal Medicine 15, 2008, 56–58.

Block T., Mantanosti G., Seltse R., Mitchel T., Cancer Morbidity and Mortality in Phosphate Woerkwes, Cancer Research, 48, 1988, 7298.

Burd A., Hydrofluoric acid—revisited, Burns 30, 2004, 720–722.

Casal J., Salla J. M., Using liquid superheating energy for a quick estimation of overpressure in BLEVEs and similar explosions, Journal of Hazardous Materials A137, 2006, 1321–1327.

CEDIGAZ - first estimation, The 2013 Natural Gas Yera in Review, Centre Internationale d information sur le Gaz et tous Hydrocarbures Gazeux, France

Chlorine Products and Benefits, World Chlorine Council, 2007.

Cozzani V., Bandini R., Basta C., Christou m. D., Application of land-use planning criteria for the control of major accident hazards: A case-study, Journal of Hazardous Materials A136, 2006, 170–180.

Cozzani V., Campedel M., Renni E., Krausmann E., Industrial accidents triggered by flood events: Analysis of past accidents, Journal of Hazardous Materials 175 (2010) 501–509

Chlorine Products and Benefits, World Chlorine Council, 2007.

Darbra R. M, Palacios A., Casal J., Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences, Journal of Hazardous Materials 183, 2010, 565–573.

Dinis-Oliveira R.J., Carvalho F.,Moreira R., Proenca J.B., Santos A., Duarte J.A., Lourdes Bastos M., Magalha T., Clinical and forensic signs related to chemical burns: A mechanistic approach, Burns 41, 2015, 658–679.

Dünser M.W, Rieder J., Hydrofluoric Acid Burn, New England Journal of Medicine, 2007, 356, DOI: 10.1056/NEJMicm055763

Erkut E., Tjandra S.A., Verter, V,. Hazardous Material Transportation, Handbook in OR & MS, C. Barnhart and G. Laporte (Eds.) Elsevier, 2007.

Erkut E., Designing a road network for hazardous materials shipments, Computers & Operations Research, 34, 2007, 1389–1405.

Galassi M.C., Papanikolaou E., Baraldi D., Funnemark E., Haland E., Engebø A., Haugom G.P, Jordan T., Tchouvelev A.V., HIAD e hydrogen incident and accident database, International journal of Hydrogen Energy, 37, 2012, 17351−17357.

George A., Bang R. L., Lari A. R., Gang R. K., Kanjoor J. R., Liquid ammonia injury, Burns, 26 (4), 2000, 409−413.

Index Mundi, Ammonia: Estimated World Production, by Country

Jie Y., Fengying L., Jingbo Z., Ling Z., Lei H., Jun B., A survey on hazardous materials accidents during road transport in China from 2000 to 2008, Journal of Hazardous Materials 184, 2010, 647–653.

Karnwal K., Agrwal R., Khichariya A., Sangwan M., Sharma S., Devastation Fire at Indian Oil Corporation Depot, Jaipur, 2009, Uttarachal Metals, 2012.

Keskin M., Beydes T., Tosun Z., Savacı N., Polyurethane spray foam burn, Burns, 34, 2008, 1041−1043.

Knothe G., Van Gerpen J., Krahl J., The Biodiesel Handbook, AOCS Press, 2004.

Global Renewable Fuel Alliance, 2012.

Kolios L., Striepling E., Kolios G., Rudolf K., Dresing K., Dorges J., Sturmer K.M., Sturmer, E.K. The Nitric acid burn trauma of the skin, Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery, 63, 2010, 358−363.

Kumar P., Fire disaster following LPG tanker explosion at Chala in Kannur (Kerala, India): August 27, 2012, Burns, 39 (7), 2013, 1479−1487.

Li-Wei J., Mei-Qing S., Jun W., Man-Qun L., Influence of ethanol–gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine, Journal of Hazardous Materials A123, 2005, 29–34.

Nitske W.R., Wilson C.M., Rudolf Diesel Pioneer of the Age of Power, University of Oklahoma Press, Norman, OK, 1965.

Marangon A., Schiavetti M., Carcassi M., Pittiglio P., Bragatto P., Castellano A., Turbulent hydrogen deflagration induced by obstacles in real confined environment, International journal of Hydrogen Energy 34, 2009, 4669–4674.

Milner S. M., Rylah L. T. A., Nguyen T. T., Chemical injury. In: Herndon DN, editor. Total burn care. 1st ed. London: Saunders; 1996. p. 415–24.

Myers R.L.,The 100 most important chemical compounds: a reference guide. Greenwood Publishing Group, London, 2007.

Park K., Mannan M. S., Jo Y-D., Kim J-Y, Keren N., Wang Y, Incident analysis of Bucheon LPG filling station pool fire and BLEVE, Journal of Hazardous Materials, A137, 2006, 62–67.

Petukhov V.A., Naboko I.M., Fortov V.E., Explosion hazard of hydrogen-air mixtures in the large volumes, International journal of Hydrogen Energy 34, 2009, 5924–5931.

Sanchez E.Y., Colman Lerner J.E., Porta A., Jacovkis P.M., Accidental release of chlorine in Chicago: Coupling of an exposure model with a Computational Fluid Dynamics model, Atmospheric Environment 64, 2013, 47−55.

Sher E., Sher I, Bar-Kohany T., Another view of the upper and intermediate explosion limits of a H_2–O_2 system, International journal of Hydrogen Energy 38, 2013, 14912–14914.

Sheridan R. L., Ryan C. M., Quinby Jr W. C., Blair J., Tompkins R. G., Burke J. F., Emergency management of major hydrofluoric acid exposures, Burns**,** 21, 1995, 62–64

Steven R. Hanna, O.R. Hansen, M. Ichard, D. Strimaitis, CFD model simulation of dispersion from chlorine railcar releases in industrial and urban areas, Atmospheric Environment 43, 2009, 262–270.

Robson M.C., Hayward P., Electrical and chemical injuries. In: Cohen M, editor. Mastery of Plastic and Reconstrüctive Surgery, Boston, MA, Little, Brown and Co., 1994, 441–451.

Wey L., Xiaofeng W., Chengjin G., Ten-year epidemiological study of chemical burns in Jinshan, Shanghai, PR China, Burns 39, 2013, 1468-1743.

Wierzba I., Kilchyk V., Flammability limits of hydrogen-carbon monoxide mixtures at moderately elevated temperatures, International journal of Hydrogen Energy 26, 2001, 639–643.

Xinganga W., Yuanhaib Y., Liangfangb N., Chuanganga Y., Chunjiangb Y., Ruimingb J., Lipingb L., Jiab L., Chunmaoa H., A review of treatment strategies for hydrofluoric acid burns: Current status and future prospects, Burns, 40, 2014, 1447–1457.

Zengin Y., Dursun R., Icera M., Gunduz E., Durgun H., Erbatur E., Damar O., Guloglu C., Fire disaster caused by LPG tanker explosion at Lice in Diyarbakır (Turkey): July 21, 2014, Burns, 41, 2015, 1347-1352.

Zhao Z., Conley J., Kazakov A., Dryer F., Burning Velocities of Real Gasoline Fuel at 353 K and 500 K, SAE, 2003, 3265.

Zhang, B., Ng H. D., Mevel R., Lee J.H.S., Critical energy for direct initiation of spherical detonations in H2/N2O/Ar mixtures, International journal of Hydrogen Energy 36, 2011, 5707–5716.

Zhang H. D., Zheng X. P., Characteristics of hazardous chemical accidents in China: A statistical investigation, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 25 (2012) 686-693.

Zimmerman L. I., Lima R., Pietrobon R., Marcozzi D., The effects of seasonal variation on hazardous chemical releases, Journal of Hazardous Materials 151, 2008, 232–238.

http://www.essentialchemicalindustry.org/chemicals/methanol.html. Podaci iz: „Asia Methanol Market Services 2014“. Podaci se odnose na 2013 godinu.

Spisak slika

Slika 1.1 – Osnovni pokazatelj obrnute proporcije ishoda i stepena razvijenosti akcidenata domino-efekta u svetu
Slika 1.2 – Ušešće opasnih materija u akcidentima i raspodela uzroka u pojedinim vidovima transporta
Slika 1.3 – Intermodalni transpot i skladištenje opasnih materija
Slika 1.4 – Raspodela akcidenata opasnih materija u toku godine na stabilnim postrojenjima i u transportu
Slika 1.5 – Nedeljna raspodela akcidenata u logističkim podsistemima sa stabilnim postrojenjima i u transportu
Slika 1.6 – Dnevna raspodela akcidenata u stabilnim postrojenjima
Slika 1.7 – Dnevna raspodela akcidenata u transportu
Slika 2.1- Baza akcidenata FACTS
Slika 2.2 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „eksploziv“
Slika 2.3- Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „kiseonik“
Slika 2.4 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „metan“
Slika 2.5 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „poliuretan, pene, smole“
Slika 2.6 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „pogonski benzin“
Slika 2.7 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“
Slika 2.8 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „metanol“
Slika 2.9 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „tečni naftni gas“
Slika 2.10 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „vodonik“
Slika 2.11 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „prirodni gas“
Slika 2.12 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „etanol“
Slika 2.13 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „dizel gorivo“
Slika 2.14 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „amonijak dehidrirani“

Slika 2.15 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „amonijak“
Slika 2.16 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „sumporna kiselina“
Slika 2.17 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „zemno ulje“
Slika 2.18 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „hlor“
Slika 2.19 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „azotna kiselina“
Slika 2.20 - Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“
Slika 2.21 - Katastrofa Halifax, 6. decembar 1917, eksplozija broda i posledice
Slika 2.22 - Kaskadni sistem skladištenja kiseonika, veliki tankovi za skladištenje kiseonika, boce za kiseonik različitih zapremina
Slika 2.23 - Pretovar boca s kiseonikom u paletnim baterijama, pretakanje tečnog kiseonika u velike transportne sudove
Slika 2.24 - Obavezne listice opasnosti za transportna sredstva kiseonika i oznaka za cilindrične boce pod pritiskom za kisonik.
Slika 2.25 - Akcident s fatalnim posledicama, Krit 12. 12. 2012.godine, ostatak ambulantnih kola posle eksplozije boce s kiseonikom
Slika 2.26 - Kolektorske jame za proizvodnju biogasa – metana i kolektori metana
Slika 2.27 - Akcident Brindizi, eksplozija neupotrebljavanog rezervoara pri demontaži, izgled rezervoara i poklopac rezervoara odbačen posle eksplozije
Slika 2.28 - Specifične opekotine od poliuretana (sprej)
Slika 2.29 - Akcident Haguenau, 8. 12. 2000, urušena krovna konstrukcija od toplotnog fluksa poliuretana
Slika 2.30 - Akcident Okobie – Nigerija, 12. jul 2012 godine, opasna materija: benzin, drumski prevoz
Sklika 2.31 - Snimak eksplozije tanka i pražnjenja gasa fluorovodonika u atmosferu, Gumi, Južna Koreja, 27. septembar 2012. godine.
Slika 2.32 - Uništeni zasadi paprike i pirinčana polja posle akcidenta, fluorovodonik, Guma, Južna Koreja, 2012.
Slika 2.33 - Klinička prezentacija opeklina nastala pod dejstvom slabog rastvora (do20%) fluorovodonične kiseline, promena kliničke slike pri oštećenju prstiju u toku 24h
Slika 2.34 - Klinička prezentacija opeklina nastala pod dejstvom visokokoncentrovanog rastvora (70%) fluorovodonične kiseline, hitan intravenozni i intraarterijalan (brahijalna arterija) infuzioni tretman s preparatima kalcijuma i magnezijuma, primer pozitivnog kliničkog ishoda: sprečena nekroza tkiva i u potpunosti očuvana motorika ruku pacijenta

Slika 2.35 - Akcident u transportu metanola, 30. avgust 2012, provincija Šanksi, Kina, 36 poginulih, 3 povređena
Slika 2.36 - San Juan Ixhuatepec, avionski snimak pre i posle katastrofe, stambena zona obuhvaćena u dnu fotografija
Slika 2.37 - San Juan Ixhuatepec, tok akcidenta preko dana i noći
Slika 2.38 - San Juan Ixhuatepec, evakuacija povređenih i njihovo stanje
Slika 2.39 - San Juan Ixhuatepec, unutrašnjost postrojenja posle akcidenta
Slika 2.40 - San Juan Ixhuatepec, izgled najbliže stambene oblasti i nastradala porodica od trovanja ugljen-monoksidom
Slika 2.41 - Akcident Bangkok – Tajland, 14. septembar 1990. godine,
opasna materija: TNG, drumski prevoz
Slika 2.42 - Akcident Viareggio, Italija, akcident u stanici i automobili van stanične zgrade u požaru posle eksplozije cisterne TNG
Slika 2.43 - Akcident Viareggio, Italija, automobili van stanične zgrade u stambenoj zoni okoline stanice, izgled stanice posle akcidenta, procenjena zona rizika akcidenta
Slika 2.44- Homepage baze HIAD
Slika 2.45 - Katastrofa Cepelina Hindenburg, 6 maj. 1937, Lakehurst, Newark, USA
Slika 2.46: isticanje prirodnog gasa iz cevovoda, I ekspertni sistem za nadzor isticanja iz mreže za snadbevanje prirodnim gasom
Slika 2.47. Najveći akcident prirodnog gasa, Ufa Čeljabinsk, SSSR, 4. Jun 1989. godine
Slika 2.48. Indianopolis, USA, 31. 10. 1963. godine, preminulo 74, povređenih oko 400
Slika 2.49.Osaka, Japan, 08. 04. 1970, godine, preminulo 79, povređeno 420.
Slika 2.50.Guadalajara, Meksiko, 22. 04. 1992. godine, preminulo 206 osoba,
povređenih oko 500 a bez doma ostalo oko 15000.
Slika 2.51.Sangindong, Daegu, Južna Koreja, 28. 04. 1995. godine,
preminula 101 osoba, povređenih 202.
Slika 2.52.Arkhangelsk, Rusija, 16. 03. 2004. godine, od posledica eskplozije gasa i urušavanja zgrade preminulo 58 osoba, nepoznat broj povređenih
Slika 2.53.Cijanhen, distrikt Kaoshiung, Tajvan, 31. 07. 2014.,preminulo 32 a povređeno 321, prekinuto snadbevanje gasom, vodom i strujom u preko 10000 domaćinstava.
Slika 2.54. Akcident Diyarbakır, Turska, 21. Juli 2014 godine, preminulo 34 a povređeno 35,
Slika 2.55. Svetska proizvodnja Etanola i Biodizela od 1975 do 2011 godine
Slika 2.56. 14. Februar 2012. godine, Cherry Valley, Kanada, 1 poginuo i 7 povređenih; 16 jula 2015 eksplozija kamionske cisterne za prevoz Etanola, Horicon, USA
Tabela 2.3. Neke Komparativne karakteristike Biodizela od biljnih ulja i osnovnog D2 Dizela
Slika 2.57. Akcident Jaipur, Indija, 29. Oktobar 2009 godine ekpertiza
domino efekta akcidenta

Slika 2.58. Autobus sa SUS motorom na pogonsko gorivo – amonijak (uočljivi cilindrični rezervoari za Amonijak na krovu autobusa) i raketni motor X15, pogon amonijak
Slika 2.59. Povrede nastale od amonijaka
Sika 2.60. Akcident Texas City Harbour, 16/17 april 1947 godine
Slika 2.61. Dakar akcident, Amonijak, 1992. Godina.
Slika 2.62. Fatalan ishod nestručne primene Sumporne kiseline, primer posledica inhalacije, autopsija Larynx-a sa vidljivim oštećenjima nastalim dejstvom Sumporne kiseline
Slika 2.63. TBSA pacijent iz akcidenta sa Sumpornom kiselinom
Slika 2.64. Reka Sonora, pre i posle akcidenta, bliži izgled reke posle akcidenta
Slika 2.65. Izlivanje Zemnog ulja u morski ekosistem, posledice
Slika 2.66. Akcident Lac-Mégantic, 6. Juli 2013. godine i stanje posle akcidenta.
Slika 2.67. Akcident „Festus, televizijski izveštaj“
Slika 2.68. Primena CDF modela za najnepovoljnije scenarije akcidenta „Festus“. Vremenske sekvence prostiranja hlora se odnose na 400, 800 i 1500 sec
Slika 2.69. Akcident Gratnevil, Južna Karolina, USA, 2005. godine
Slika 2.70. Proces lečenja pri površinskoj kontaminaciji Azotnom kiselinom. Karakteristične žute i braon promene na boji kože prvih dana i proces lečenja
Slika 2.72. Akcident Frankfurt, Nemačka, 5. Oktobar. 2010. Greška operatera pri pretovaru hlorovodonične kiseline, sanacija akcidenta

Spisak tabela

Tabela 1.1. Raspodela akcidenata domino-efekta po logističkim podsistemima od 1961. do 2007. godine
Tabela 1.2. Glavni uzroci akcidenata u drumskom transportu opasnih materija (Jie i sar., 2010)
Tabla 1.3. Komparativni troškovi akcidenata bez učešća i s učešćem opasnih materija u drumskom transportu (Erkut i sar., 2007)
Tabela 2.1 - Aposteriori verovatnoće posledica za izabrane opasne materije
Tabela 2.2 - Maksimalne dozvoljene koncentracije nekih produkata u proizvodnji eksploziva
Tabela 3.1. Raspodele akcidenata po logističkim podsistemima i po kvalitetu posledica za izabranu opasnu materiju
Tabela 3.2. Proračun broja akcidenata u logističkim podsistemima
Tabela 3.3. Proizvodi verovatnoća aposteriori jednodimenzionalnih slučajnih promenljivih raspodele akcidenata po logističkim podsistemima – X i raspodele kvalitativnih posledica od akcidenata Y, $P(X_i)P(Y_j)$
Tabela 3.4. Verovatnoće proizvoda aposteriori dvodimenzionalne slučajne promenljive raspodele akcidenata po logističkim podsistemima – X i raspodele kvalitativnih posledica od akcidenata Y - $P(X_i)P(Y_j)$
Tabela 3.5. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju– „eksploziv“
Tabela 3.6. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „eksplozivi“
Tabela 3.7. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „eksplozivi“
Tabela 3.8. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „kiseonik“
Tabela 3.9. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „kiseonik“
Tabela 3.10. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „kiseonik“
Tabela 3.11. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „metan“
Tabela 3.12. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „metan“
Tabela 3.13. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „metan“
Tabela 3.14. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju “poliuretani“
Tabela 3.15. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „poliuretani“
Tabela 3.16. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „poliuretani“
Tabela 3.17. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „motorni benzin“
Tabela 3.18 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „motorni benzin“
Tabela 3.19. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „motorni benzin“

Tabela 3.20. Proizvodi verovatnoća podsistema transporta za opasnu materiju „motorni benzin“
Tabela 3.21. Verovatnoće proizvoda podsistema transporta za opasnu materiju „motorni benzin“
Tabela 3.22. Uticaj logističkih podsistema transporta na ishode fatalnih događaja tokom transporta za opasnu materiju „motorni benzin“ (respektivno po koloni: avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni)
Tabela 3.23 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“
Tabela 3.24 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“
Tabela 3.25. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „fluorovodonična kiselina“
Tabela 3.26. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „metanol“
Tabela 3.27. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „metanol“
Tabela 3.28. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „metanol“
Tabela 3.29. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „tečni naftni gas“
Tabela 3.30. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „tečni naftni gas“
Tabela 3.31. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „tečni naftni gas“
Tabela 3.32. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „vodonik“
Tabela 3.33. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „vodonik“
Tabela 3.34. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „vodonik“
Tabela 3.35. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „prirodni gas“
Tabela 3.36. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „prirodni gas“
Tabela 3.37. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „prirodni gas“
Tabela 3.38. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „etanol“
Tabela 3.39. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „etanol“
Tabela 3.40. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „etanol“
Tabela 3.41. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „dizel gorivo“
Tabela 3.42 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „dizel gorivo“
Tabela 3.43. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „dizel goriva“
Tabela 3.44. – Proizvodi verovatnoća podsistema transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“
Tabela 3.45. – Verovatnoće proizvoda podsistema transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“
Tabela 3.46. Uticaj logističkog podsistema transporta na ishode fatalnih događaja tokom transporta za opasnu materiju „dizel gorivo“ (respektivno po koloni: avio, drumski, železnički, rečni, pomorski i cevni)

Tabela 3.47. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „amonijak dehidriran“
Tabela 3.48. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „amonijak dehidriran“
Tabela 3.49. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „amonijak dehidriran“
Tabela 3.50. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „amonijak“
Tabela 3.51. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „amonijak“
Tabela 3.52.. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „amonijak“
Tabela 3.53 – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „sumporna kiselina“
Tabela 3.54 – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „sumporna kiselina“
Tabela 3.55. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju„sumporna kiselina“
Tabela 3.56. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju„zemno ulje“
Tabela 3.57. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „zemno ulje“
Tabela 3.58. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju„zemno ulje“
Tabela 3.59. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „hlor“
Tabela 3.60. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „hlor“
Tabela 3.61. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „hlor“
Tabela 3.62. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „azotna kiselina“
Tabela 3.63. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „azotna kiselina“
Tabela 3.64. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „azotna kiselina“
Tabela 3.65. – Proizvodi verovatnoća za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“
Tabela 3.66. – Verovatnoće proizvoda za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“
Tabela 3.67. Uticaj logističkih podsistema na ishode fatalnih događaja za opasnu materiju „hlorovodonična kiselina“
Table 5.1. Sistematizacija rezultata proračuna rizika logističkih podsistema za izabrane opasne materije