



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
DEPARTMAN ZA SAOBRAĆAJ



NIKOLA ZIRAMOV

# **MODEL ZA PROCENU RIZIKA AMONIJAKA U LOGISTIČKIM PODSISTEMIMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: Prof. dr Siniša Sremac

Novi Sad, 2020.



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj, <b>RBR:</b>		
Identifikacioni broj, <b>IBR:</b>		
Tip dokumentacije, <b>TD:</b>	Monografska dokumentacija	
Tip zapisa, <b>TZ:</b>	Tekstualni štampani materijal	
Vrsta rada, <b>VR:</b>	Doktorska disertacija	
Autor, <b>AU:</b>	Nikola Ziramov	
Mentor, <b>MN:</b>	Prof. dr Siniša Sremac	
Naslov rada, <b>NR:</b>	Model za procenu rizika amonijaka u logističkim podsistemima	
Jezik publikacije, <b>JP:</b>	Srpski	
Jezik izvoda, <b>JI:</b>	Srpski	
Zemlja publikovanja, <b>ZP:</b>	Republika Srbija	
Uže geografsko područje, <b>UGP:</b>	Vojvodina	
Godina, <b>GO:</b>	2020.	
Izdavač, <b>IZ:</b>	Fakultet tehničkih nauka	
Mesto i adresa, <b>MA:</b>	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6	
Fizički opis rada, <b>FO:</b>	7 / 127 / 176 / 14 / 44 / -	
Naučna oblast, <b>NO:</b>	Saobraćajno inženjerstvo	
Naučna disciplina, <b>ND:</b>	Organizacija i tehnologije transportnih sistema	
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO:</b>	Procena rizika, opasne materije, amonijak, logistički podsistemi	
UDK		
Čuva se, <b>ČU:</b>	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu	
Važna napomena, <b>VN:</b>		
Izvod, <b>IZ:</b>	Razvijen je model za procenu rizika amonijaka u logističkim podsistemima. Navedene su osnovne parametarske i neparametarske statističke karakteristike akcidenata sa amonijakom po logističkim podsistemima. Raspodele hospitalizovanih, nehospitalizovanih i nastradalih učesnika akcidenata imaju homogene zakone, zasnovane na Vejbulovoj raspodeli. Hospitalizovani preminuli učesnici su raspodeljeni po Binomnoj raspodeli. Najveći broj učesnika u akcidentu amonijaka je ustanovljen u logističkom podsistemu proizvodnje, prosečno 8,8750. Kritičan rizik amonijaka je ustanovljen u logističkom podsistemu pretovara.	
Datum prihvatanja teme, <b>DP:</b>	21.06.2018.	
Datum odbrane, <b>DO:</b>		
Članovi komisije, <b>KO:</b>	Predsednik:	Prof. dr Ilija Tanackov
	Član:	Prof. dr Marko Vasiljević
	Član:	Prof. dr Gordan Stojić
	Član:	Prof. dr Svetlana Nikoličić
	Član, mentor:	Prof. dr Siniša Sremac
		Potpis mentora



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual materials, printed
Contents code, <b>CC</b> :	Doctoral dissertation
Author, <b>AU</b> :	Nikola Ziramov
Mentor, <b>MN</b> :	Siniša Sremac, Ph. D.
Title, <b>TI</b> :	Ammonia risk assessment model in logistical subsystems
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian
Country of publication, <b>CP</b> :	Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2020.
Publisher, <b>PB</b> :	Faculty of Tehnical Sciences
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovica 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/	7 / 127 / 176 / 14 / 44 / -
Scientific field, <b>SF</b> :	Traffic engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Organization and technologies of transportation systems
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Risk assessment, hazardous substances, ammonia, logistic subsystems
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovica 6
Note, <b>N</b> :	-
Abstract, <b>AB</b> :	Ammonia risk assessment model in logistical subsystems has been developed. Basic parametric and non-parametric statistical characteristics of ammonia accidents by logistic subsystems are given. Distributions of hospitalized, non-hospitalized, and injured accident participants have homogeneous laws, based on the Weibull distribution. Hospitalized deceased participants were distributed by Binomial distribution. The largest number of participants in the ammonia incident was established in the logistics subsystem of production, with an average of 8.8750. Critical risk of ammonia is established in the logistic subsystem of reloading.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	21.06.2018.
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	
President:	PhD Ilija Tanackov, Full Prof.
Member:	PhD Marko Vasiljević, Full Prof.
Member:	PhD Gordan Stojić, Assoc. Prof.
Member:	PhD Svetlana Nikoličić, Assoc. Prof.
Member, Mentor:	PhD Siniša Sremac, Assoc. Prof.
	Menthor's sign

## SADRŽAJ

SPISAK SLIKA .....	VI
SPISAK TABELA .....	VIII
SPISAK SKRAĆENICA .....	IX
REZIME .....	X
ABSTRAKT .....	XI
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. Predmet istraživanja.....	4
1.2. Ciljevi i hipoteze istraživanja .....	8
1.3. Struktura disertacije .....	10
Literatura .....	12
<b>2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U OBLASTI.....</b>	<b>13</b>
Literatura .....	23
<b>3. LOGISTIČKI SISTEMI ZA OPASNE MATERIJE .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. SPECIFIČNOSTI LOGISTIČKIH SISTEMA ZA OPASNE MATERIJE .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2. PROPISI U LOGISTIČKIM SISTEMIMA ZA OPASNE MATERIJE .....</b>	<b>31</b>
3.2.1. MEĐUNARODNI PROPISI .....	33
3.2.1.1. Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe - ADR .....	33
3.2.1.2. Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe - RID .....	36
3.2.1.3. Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnog tereta unutrašnjim plovnicama - ADN .....	37
3.2.2. PROPISI EVROPSKE UNIJE.....	37
3.2.2.1. Direktiva 2008/68 o kopnenom transportu opasne robe .....	38
3.2.2.2. Direktiva 95/50 o kontroli drumskog transporta opasne robe.....	38
3.2.2.3. Direktiva 2010/35 o pokretnoj opremi pod pritiskom.....	39
3.2.2.4. Direktiva 2012/18 o kontroli opasnosti od velikih udesa koje uključuju opasne materije .....	40
3.2.3. NACIONALNI PROPISI .....	40
3.2.3.1. Zakon o transportu opasne robe .....	42
3.2.3.2. Uredba o pokretnoj opremi pod pritiskom .....	44
3.2.3.3. Pravilnik o načinu transporta opasnog tereta u drumskom saobraćaju.....	45
Literatura.....	47

<b>4. OSNOVNA SVOJSTVA AMONIJAKA .....</b>	<b>49</b>
4.1. Otkriće i istorija amonijaka .....	49
4.2. Hemijske i fizičke osobine amonijaka.....	50
4.3. Prirodni izvori amonijaka .....	51
4.4. Industrijska proizvodnja amonijaka .....	53
4.5. Primena amonijaka .....	54
4.6. Amonijak u medicini .....	56
4.7. Senzorski sistemi za amonijak.....	61
4.8. Pregled karakterističnih akcidenata sa amonijakom.....	64
Literatura .....	77
<b>5. RAZVOJ I TESTIRANJE MODELA ZA PROCENU RIZIKA AMONIJAKA U LOGISTIČKIM PODSISTEMIMA .....</b>	<b>81</b>
5.1. Kvalitativna istraživanja rizika od amonijaka .....	82
5.2. Komparativna analiza rizika od amonijaka sa pojedinim opasnim materijama .....	87
5.3. Osnovne parametarske i neparametarske statističke karakteristike akcidenata sa amonijakom .....	89
5.4. Raspodela i analiza rizika amonijaka po logističkim podsistemima .....	98
5.5. Analiza po tipu dejstva amonijaka.....	102
Literatura .....	107
<b>6. DISKUSIJA.....</b>	<b>108</b>
<b>7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>110</b>
LITERATURA .....	112
PRILOG.....	121

## SPISAK SLIKA

Slika 1. Kriva društvenog rizika za amonijak i hlor u tunelima .....	5
Slika 2. Transport opasnih materija u EU .....	27
Slika 3. Procentualno učešće transporta opasne robe u drumskom saobraćaju na teritoriji EU za 2017. godinu .....	28
Slika 4. Propisi koji regulišu transport opasne robe .....	32
Slika 5. Prilog A - Opšte odredbe i odredbe o opasnim predmetima i supstancama .....	35
Slika 6. Siwa Oasis, Egipat - prvo prirodno nalazište amonijaka u starom veku.....	49
Slika 7. Herodot i Plinije mlađi .....	49
Slika 8. Abu Musa Jabir Ibn Hayyan, Džozef Prisli, Klaud Luis Bartelot.....	50
Slika 9. Trigonalna piramida molekula amonijaka NH <sub>3</sub> .....	51
Slika 10. Raspodela amonijaka u zemljinoj atmosferi, 2018. godina .....	52
Slika 11. Amonijum-hlorid (aditiv E510) i prirodni zvor amonijum-sufata .....	52
Slika 12. Najveći proizvođači amonijaka u svetu u 2016. godini .....	53
Slika 13. Autobus sa SUS motorom na pogonsko gorivo amonijak i raketni motor X15 .....	54
Slika 14. Direktna primena amonijaka u poljoprivredi .....	55
Slika 15. Različiti tipovi veštačkog đubriva zasnovanih na amonijaku i azotu .....	55
Slika 16. Povrede očiju usled dejstva amonijaka .....	58
Slika 17. CT (kompjuterizovana tomografija) pluća 7 i 29 dana posle akcidenta .....	59
Slika 18. Sudsko-patološka analiza nastradalog od inhalacije amonijaka .....	59
Slika 19. Studija slučaja povreda od prskanja amonijaka .....	60
Slika 20. Posledice akcidenta eksplozije amonijaka pri ilegalnoj proizvodnji metamfetamina .....	61
Slika 21. Struktura ZnO i odzivi na različite opasne materije sa izraženom dominacijom senzorisanja prisustva amonijaka .....	62
Slika 22. Akcident u luci u Teksasu 1947. godine .....	64
Slika 23. Akcident u Kritu, SAD 1969. godine .....	65
Slika 24. Akcident u Hjustonu 1976. godine .....	66
Slika 25. Akcident sa amonijakom u Dakaru 1992. godine .....	67
Slika 26. Sličnost tankova za amonijak i propan, akcident u Minesoti 1999. godine .....	68
Slika 27. Cevovod “Magelan” i njegovo prostiranje sa akcidentom rupture u Kanzasu 2004. godine .....	69
Slika 28. Ostaci postrojenja fabrike u Ahmedabad posle akcidenta 2010. godine .....	69

Slika 29. Akcident u Shanghai Weng's Cold Storage Industrial Co. 2013. godine .....	70
Slika 30. Eksplozija u West Fertiliser Company, Teksas, SAD 2013. godina .....	71
Slika 31. Ostaci železničkih kola za prevoz amonijaka, posle akcidenta .....	71
Slika 32. Kompresorska jedinica pivare "Karslberg" iz Northemptona .....	72
Slika 33. Stanje hladnjaka sa uočljivom korozijom koja je smanjila propisane dimenzije rashladnih otvora i ruptura cevi od oko 1 mm kroz koju je isticao amonijak .....	73
Slika 34. Odvojena spojnica i šematski prikaz torzione deformacije u gornjoj spojnici i odvajanje donje spojnice, akcident u Fernie Memorial Arena .....	74
Slika 35. Prevrtanje kola-cisterne sa amonijakom na pruži Niš-Zaječar, 2019. godina .....	75
Slika 36. Baza FACTS sa akcidentima opasne materije amonijak .....	82
Slika 37. Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju amonijak bezvodni .....	84
Slika 38. Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsistemima za opasnu materiju klasičan amonijak .....	85
Slika 39. Raspodela kvalitativnog rizika od određenih opasnih materija u logističkom podsistemu pretovara.....	86
Slika 40. Odnosi rizika amonijaka sa datim opasnim materijama .....	87
Slika 41. Grafička raspodela akcidenata po logističkoj lokaciji i posledicama .....	89
Slika 42. Grafički prikaz raspodela nehospitalizovanih, hospitalizovanih preživeli, hospitalizovanih preminulih i nastradalih u akcidentima sa opasnom materijom amonijak....	91
Slika 43. Raspodela akcidenata sa amonijakom po mesecima.....	97
Slika 44. Grafički prikaz rezultata analize varijanse nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih i nastradalih po podsistemima u akcidentima amonijaka .....	99

## SPISAK TABELA

Tabela 1. Štićene vrednosti kod akcidenta sa amonijakom .....	6
Tabela 2. Pregled analiziranih akcidentata sa amonijakom .....	76
Tabela 3. Srednje vrednosti nehospitalizovanih, hospitalizovanih (preživelih i preminulih) i srednji broj nastradalih u akcidentima za navedene opasne materije.....	88
Tabela 4. Osnovni parametri raspodela 1165 radnika u 240 akcidentata sa amonijakom .....	91
Tabela 5. Raspodele, parametri i verifikacije raspodela u akcidentima sa amonijakom.....	97
Tabela 6. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja radnika po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak.....	98
Tabela 7. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja nehospitalizovanih radnika i trećih lica po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak.....	100
Tabela 8. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja hospitalizovanih radnika i trećih lica po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak.....	100
Tabela 9. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja umrlih tokom hospitalizacije po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak.....	101
Tabela 10. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja nastradalih po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak .....	102
Tabela 11. Raspodela nehospitalizovanih, hospitalizovanih, radnika preminulih tokom hospitalizacije i nastradalih radnika po tipu dejstva opasne materije amonijak.....	102
Tabela 12. Srednji broj radnika po tipu dejstva i posledicama u akcidentima.....	103
Tabela 13. Raspodele nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih i nastradalih u akcidentima amonijaka po tipu dejstva amonijaka u podsistemu pretovara .....	104
Tabela 14. Srednji broj nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih i nastradalih u akcidentima amonijaka po tipu dejstva amonijaka u podsistemu pretovara .....	105



**SPISAK SKRAĆENICA**

SKRAĆENICA	PUN NAZIV I ZNAČENJE
ABC	Veštačka kolonija pčela - <i>Artificial Bee Colony</i> ;
ADR	Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe - <i>European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road</i> ;
ADN	Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnog tereta na unutrašnjim plovim putevima - <i>European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways</i> ;
ANFIS	Adaptivni neuro-fazi sistem zaključivanja - <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> ;
ARIA	Analiza, istraživanje i informacije o akcidentima - <i>Analysis, Research and Information on Accidents</i> ;
ARIP	Informativni program o akcidentima - <i>Accidental Release Information Program</i> ;
EPA CEPPPO	Istorija hemijskih akcidenata - <i>Chemical Accident Histories</i> ;
ERA	Evropska železnička agencija - <i>European Union Agency for Railways</i> ;
EU	Evropska unija - <i>European Union</i> ;
FACTS	Informacioni sistem za tehničke otkaze i akcidente - <i>Failure and Accident Technical Information System</i> ;
HAMER	Sistem za hitne intervencije sa opasnim materijama - <i>HAzardous Material Emergency Response system</i> ;
HSEES	Agencija za registraciju otrovnih supstanci i bolesti - <i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i> ;
ICAO-TI	Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva - <i>Technical Instructions For The Safe Transport of Dangerous Goods by Air</i> ;
IRDAT	Međunarodna baza podataka o drumskom prevozu i akcidentima - <i>International Road Traffic and Accident Database</i> ;
MAHB	Baza velikih akcidenata sa opasnim materijama - <i>Major Accident Hazard Base</i> ;
MHIDAS	Baza podataka o velikim opasnim incidentima - <i>Major Hazard Incident Data Service</i> ;
MARS	Sistem izveštavanja o velikim akcidentima - <i>Major Accident Reporting System</i> ;
OSHA	Uprava za zaštitu na radu - <i>Occupational Safety and Health Administration</i>
OTIF	Međuvladina organizacija za međunarodne prevoze železnicom - <i>Intergovernmental Organisation for International Carriage by Rail</i> ;
QRA	Kvantitativna procena rizika - <i>Quantitative risk assessment</i> ;
RID	Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe - <i>The Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail</i> ;
SOFC	Čvrste oksidirajuće gorive ćelije – <i>Solid Oxide Fuel Cells</i> ;
TNG	Tečni naftni gas;
TrHaM	Transport opasnih materija - <i>Transport of Hazardous Materials</i> ;
TRAT	Analiza transportnog rizika - <i>Transportation Risk Analysis</i> ;
UIC	Međunarodna železnička unija - <i>Worldwide railway organisation</i> ;

## REZIME

*Iako su svojstva opasnih materija takva da samim postojanjem, upotrebom ili korišćenjem stvaraju povećanu opasnost za okolinu, udeo opasnih materija u ukupnoj strukturi privrednog sistema zauzima sve značajnije mesto. Upravljanje rizikom od nastanka akcidentne situacije po logističkim podsistemima ima važnu ulogu u prevenciji nastanka akcidenata i ublažavanju posledica takvih događaja. Logistički sistemi opasnih materija imaju različite nivoe istraživanja i na strateškom nivou ne sme se izostaviti ni jedan deo, inače se rizik za potencijalni neželjeni događaj značajno povećava. U disertaciji je razvijen model za procenu rizika amonijaka po sledećim tehnološkim celinama: u proizvodnji, transportu, pretovaru, skladištenju i pri upotrebi.*

*U analizi logističkih sistema opasnih materija, amonijak je posebno interesantan zbog industrijskog značaja koji generiše veliki obim proizvodnje, a hazardni potencijal implicira značajan broj akcidenata nepredvidivih posledica po bezbednost i zdravlje radnika ili trećih lica. Amonijak spada u opasne materije sa procenjenim minimalnim rizikom od  $r=2,8336 \cdot 10^{-6}$  akcident/tona. Pored visokog rizika, pri akcidentima amonijaka je karakterističan veliki broj zahvaćenih radnika i trećih lica, prosečno 4,72 po akcidentu. Od toga 95,02% učesnika preživi akcident, a 4,98% završi fatalno. Sistematizacija rizika je izvedena po lokaciji akcidenata po podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe. Urađena je raspodela i analiza rizika za reprezentativnu opasnu materiju amonijak po logističkim podsistemima sa detaljnim grafičkim prikazom po ishodu, tipu dejstva i logističkom podsistemu. Navedene su osnovne parametarske i neparametarske statističke karakteristike akcidenata. Raspodele hospitalizovanih, nehospitalizovanih i nastradalih učesnika akcidenata imaju homogene zakone, zasnovane na Vejbulovoj raspodeli. Hospitalizovani preminuli učesnici su raspodeljeni po Binomnoj raspodeli. Najveći broj učesnika u akcidentu amonijaka je ustanovljen u logističkom podsistemu proizvodnje, prosečno 8,8750. Kritičan rizik amonijaka je ustanovljen u logističkom podsistemu pretovara. Kvantitativna analiza je potvrdila visoke rizike pretovara amonijaka, posebno sa rezultatom od 0,5160 fatalnih ishoda po akcidentu. Uzrok je otkriven pri analizi tipa dejstva amonijaka: respiratorno-toksično dejstvo je istaknuto kao dominantno i upućuje na nedozvoljeno visoke koncentracije amonijaka u pretovarnom okruženju. U raspodeli akcidenata po logističkim podsistemima dominira podsistem upotrebe. Na njega je raspodeljeno 58.33% akcidenata amonijaka. Ovaj kvantitet nema statistički naglašene kvalitativne razlike u rizicima. Po tipu neželjenog dejstva, najzastupljenije su smrztine od amonijaka koje izazivaju najmanje fatalnih ishoda. Najinvazivniji tip je respiratorno-toksično dejstvo amonijaka.*

## ABSTRACT

*Although its dangerous goods are such that by their existence or use, they have created an increased environmental hazard, the share of dangerous materials in the overall structure of the economic system occupies an increasingly important place. Accident risk management in logistical subsystems plays an important role in preventing accidents from occurring and mitigating such events. The logistical system of dangerous goods has different levels of research and at the strategic level no part should be left out, otherwise the risk for potential adverse events could be increased. In the dissertation, a model for the assessment of ammonia risk by the following technological units was developed: in production, transport, reloading, storage and use.*

*In the analysis of logistics systems of dangerous goods, ammonia is of particular interest because of its industrial importance, which generates large volumes of production, the dangerous potential implies an important number of accidents of unpredictable people on the safety and health of workers or third parties. Ammonia is included in hazardous substances with a minimum risk of  $r = 2.8336 \cdot 10^{-6}$  accident/ton. In addition to high risk, ammonia accidents are characterized by a large number of affected workers and third parties, an average of 4.72 per accident. Of these, 95.02% of participants survived the accident and 4.98% ended fatal. The systematization of risk was performed at the location of accidents by subsystems of production, storage, reloading, transport and use. Risk distribution and analysis for representative hazardous material of ammonia by logistic subsystems with detailed graphical representation by outcome, effect type and logistic subsystem was made. They are listed with basic parameters and non-parametric statistical characteristics of accidents. Distributions of hospitalized, non-hospitalized, and injured accident participants have homogeneous laws, based on the Weibull distribution. Hospitalized preliminary participants are divided by Binomial distribution. The largest number of participants in the ammonia incident was set up in the logistics subsystem of production, averaging 8.8750. Critical risk of ammonia is set in the logistics subsystem of reloading. Quantitative analysis confirmed high risks of ammonia overload, especially with 0.5160 fatal per-accident results. The cause was detected in the analyzed ammonia species: respiratory toxicity was highlighted as dominant and indicated that illicitly high concentrations of ammonia were being detected in the fraudulent environment. The distribution of accidents across logistics subsystems is dominated by the use subsystem. It accounts for 58.33% of the ammonia accidents. By type of side effect, ammonia frostbite is the most prevalent cause of the least fatal outcomes. The most invasive peak is the respiratory-toxic effect of ammonia.*

# 1. UVOD

Svakodnevne potrebe ljudi i zahtevi privrede za realizacijom određenih delatnosti i aktivnosti su sve veći. Savremeno doba je dovelo do ubrzanog razvoja nauke, tehnike i tehnologije. To omogućava proizvodnju, potrošnju i upotrebu velikog broja različitih proizvoda. Kako bi se zadovoljili zahtevi privrede, na tržištu se nalazi i sve veći broj različitih vrsta opasnih materija i povećava se obim njihovog prometa. Uvođenjem novih tehnologija raste potreba za dodatnim resursima, što se odražava na permanentni porast broja opasnih materija. Iako su svojstva opasnih materija takva da samim postojanjem, upotrebom ili korišćenjem stvaraju povećanu opasnost za okolinu, udeo opasne robe u ukupnoj strukturi privredne razmene zauzima sve veće mesto.

Opasne materije su materije koje svojim svojstvima (otrovnost, opasnost od zračenja, eksplozivnost, zapaljivost, korozivnost i dr.) ili hemijskim reakcijama u toku proizvodnje, transporta, skladištenja, pretovara i upotrebe mogu ugroziti zdravlje i život ljudi, zagaditi životnu sredinu ili naneti štetu materijalnim dobrima [12]. Razorna moć pojedinih opasnih materija je takva da može dovesti do katastrofalnih posledica. Prevoz ovih materija povećava opasnost sa jedne strane zbog rizika koji prate odvijanje saobraćaja i mogućnosti nastajanja saobraćajne nezgode, a sa druge strane zbog ograničenih mogućnosti prilagođavanja ambalaže i vozila svojstvima opasnih materija u cilju sprečavanja njihovog štetnog dejstva [8].

Uzimajući u obzir činjenicu da se prema podacima Međunarodne organizacije za rad [7] najveći broj akcidenata sa opasnim materijama dogodi u procesu proizvodnje 40%, potom pri prevozu 35% i prilikom skladištenja 25%, može se zaključiti da upravljanje rizikom od nastanka akcidentne situacije po logističkim podsistemima može imati veliku ulogu u prevenciji nastanka i ublažavanju posledica neželjenih događaja [11].

Transport opasne robe je globalni problem koji privlači sve veću pažnju, pre svega zbog povećanog broja materija koje se klasifikuju u opasnu robu, ali i zbog specifičnih izazova u organizaciji transporta ove vrste robe. Zapravo, kao posledica intenzivnog industrijskog razvoja, velike količine opasnih materija se proizvode na godišnjem nivou i to povećanje uslovljava porast zahteva za transportom i ostalim povezanim logističkim aktivnostima.

Upravljanjem rizikom od nastanka akcidentne situacije u logističkim sistemima opasne robe se smanjuje verovatnoća nastanka akcidenta i veličina posledica [11]. Neophodno je naglasiti da je rizik uvek prisutan i uvek postoji, te se ne može izbeći. I pored velikog broja donetih propisa u poslednjih nekoliko godina, rizici su i dalje u kategoriji nepredvidivih, a to otvara mogućnosti za neželjene događaje sa teškim posledicama pre svega po stanovništvo i životnu sredinu.

Rizik povezan sa prevozom opasnih materija ne zavisi samo od materije koja se nalazi u vozilu, već i od brojnih drugih karakteristika kao što su: vrsta saobraćajnice, prirodno okruženje, vremenski uslovi, veštine i stručne osposobljenosti vozača, naseljenosti duž odabranih ruta i dr. Rizik povezan sa takvom aktivnošću u suštini je povezan sa mogućnošću nesreće sa negativnim ekološkim i zdravstvenim posledicama te se ne mogu izbeći, jer će uvek postojati potrebe za proizvodnjom, transportom, skladištenjem, pretovarom i upotrebom ovih materija. Smanjenje potencijalnih negativnih uticaja pojedinih logističkih aktivnosti sa opasnim materijama na okruženje je važan zadatak za zajednicu, nadležne organe, proizvođače ovih materija i prevoznike.

Svest o riziku se formira širenjem i “produblivanjem znanja” iz različitih segmenata u okviru oblasti logističkih sistema opasne robe. Pod “produblivanjem znanja” podrazumeva se popunjavanje pojedinih praznina u teorijskom poznavanju pojedinosti koje nose deo rizika u transportu opasne robe. Za formiranje funkcionalne svesti o riziku, neophodno je lično iskustvo posledice delovanja opasne materije, ali i posledice nestručnog rukovanja i manipulisanja opremom, ambalažom ili cisternom. Odgovarajućim rešenjima se nepredvidiv rizik svodi na prihvatljiv sa aspekta primenljivih odredbi važećih propisa, standarda i normi, odnosno nepredvidiv rizik se smanjuje sa jasno definisanim uslovima pod kojima se može svesti na prihvatljiv [15].

U svakodnevnom životu za određenu akciju ili očekivani ishod često se koristi izraz “rizično”, a pri tome se podrazumeva sumnja u nepovoljan ishod posmatrane situacije. Termin rizik se pojavio krajem petnaestog veka, međutim uvođenje ovog termina u nauku zahtevalo je i njegovo preciznije određenje. Pokušaji da se napravi jedinstvena definicija rizika koja bi bila pogodna u svim oblastima istraživanja nisu doveli do cilja. Zbog toga, u zavisnosti od teorijskih opredeljenja i istraživačkih interesovanja, autori definišu rizik na različite načine.

Određen broj inostranih autora definiše rizik kao kombinaciju verovatnoće nastanka akcidentne situacije i veličine mogućih posledica od akcidenta. Ova definicija je prihvaćena i od strane pojedinih domaćih autora koji se bave tematikom transporta opasne robe [11]. Pod rizikom se podrazumeva kompleksna osobina kojom se jednovremeno opisuje verovatnoća nastanka štetnih događaja i očekivana veličina posledice tih događaja u zaokruženom sistemu i tokom utvrđene dužine vremenskog intervala ili tokom neke određene misije [6].

Na osnovu definicija rizika može se konstatovati da rizik podrazumeva mogućnost nekog “neprijatnog” događaja sa različitim vidovima neželjenih posledica. Termin mogućnost pretpostavlja neizvesnost ishoda događaja, te je postojanje rizika neposredno vezano za neizvesnost. Izvesnost ishoda ne podrazumeva rizik. Osim neizvesnosti, rizik podrazumeva i mogućnost izbora, odnosno postojanje većeg broja mogućih rešenja.

Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama [16] označava rizik kao kombinaciju verovatnoće da će se katastrofa desiti u određenom vremenskom razdoblju i sa određenim negativnim posledicama, dok procena rizika utvrđuje prirodu i stepen rizika od potencijalne opasnosti, stanja ugroženosti i posledica koje mogu da ugroze život i zdravlje ljudi, životnu sredinu i materijalna dobra.

Po Zakonu o zaštiti životne sredine [17], rizik jeste određeni nivo verovatnoće da neka aktivnost, direktno ili indirektno, izazove opasnost po životnu sredinu, život i zdravlje ljudi. Rizici u logističkim sistemima su povezani sa uticajima na okolinu, posebno sa prirodom u okruženju i zdravljem i sigurnošću ljudi. Ovi uticaji mogu biti hronični (npr. povećan nivo buke, emisija izduvnih gasova, zagađujuće materije i čestice) ili akutni (npr. nezgode). Potrebna je analiza rizika za dobro planiranje i upravljanje, kako bi se sprečili neželjeni događaji i ublažile njihove posledice [10].

Na sadašnjem nivou diferencijacije rizika akcidentnih situacija sa opasnim materijama u logističkim sistemima, svaki naučni doprinos po ovom stručnom pitanju biće prihvaćen za razmatranje sa posebnim interesom društvene zajednice. Raspodela rizika opasnih materija po logističkim podsistemima i njihova komparacija je do sada urađena samo na kvalitativnom nivou, a bilo koji rezultat proračuna rizika sa kvantitativnom ekspresijom za pojedinačne opasne materije, predstavlja rezultat od posebnog značaja.

## 1.1. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Doktorska disertacija je zasnovana na potrebi da se opiše sistem transporta opasne robe, da se pronađu rešenja i odgovori, sa ciljem da se smanje rizici povezani sa logističkim aktivnostima i poveća nivo opšte bezbednosti u sistemu opasne robe. Logistika opasne robe je složen sistem u kome je transport opasne robe vodeći podsistem, ali podjednako bitan kao i svi ostali povezani logistički podsistemi (pretovar, skladištenje i dr.) u lancu isporuke ove specifične vrste robe. Tokom izrade disertacije, razvijen je novi pristup i dobijeno optimalno rešenje modela za procenu rizika konkretne opasne materije amonijak, primenjen na logističke podsisteme opasne robe sa pretpostavkama metodologije.

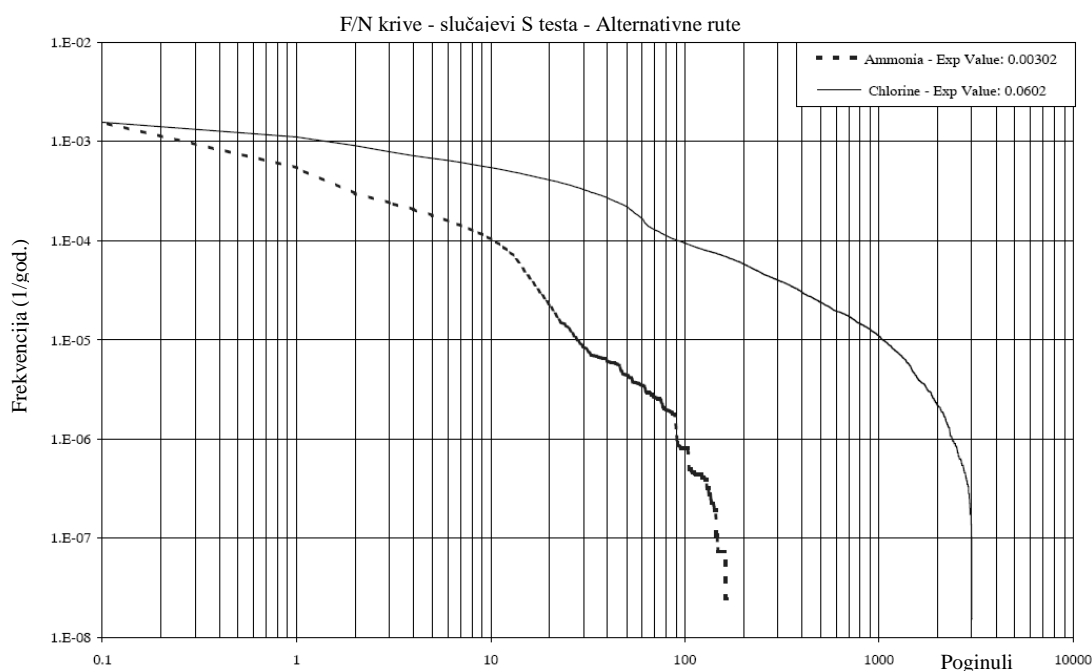
Posle osnovnih energenata druge i treće klase opasnih materija (prirodnog gasa i nafte), kao i derivata frakcije destilacije (benzin, dizel i TNG), najveći kvantiteti u logističkim sistemima opasnih materija od proizvodnje do potrošnje raspodeljeni su na opasnu materiju amonijak. Amonijak je svrsishodno izabran za izvedeno istraživanje zbog:

- širokog dijapazona primene,
- višestrukog ili pojedinačnog neželjenog delovanja u akcidentima i
- izražene heterogene opasnosti otrovnog gasa i korozivnog dejstva.

Amonijak ima široku primenu u industriji. U hemijskoj industriji se koristi kao osnova za dobijanje mnogih veštačkih đubriva (urea, kan, NPK) i drugih azotnih jedinjenja (amonijumovih soli), itd. Koristi se i u ostalim granama industrije: tekstilnoj za proizvodnju veštačke svile, sintezi plastike, proizvodnja papira, osnovni fluid u rashladnim sistemima, kao sredstvo za čišćenje ili za proizvodnju eksploziva. Može da se koristi i kao gorivo za motor sa unutrašnjim sagorevanjem ili raketno gorivo (raketni motor XLR-99).

Amonijak ima hazardni potencijal za izazivanje teških oštećenja zbog toksičnih efekata zasnovanih na njegovoj alkalnoj hemijskoj prirodi [5]. Letalna doza je  $LD_{50} = 0,015$  ml/kg. Osim toga, može izazvati i promrzline od I do III stepena zbog egzotermne prirode, prilikom isticanja tečnog amonijaka. Povrede koje nastaju kod ljudi od smrzavanja proizvode teške sistemske komplikacije praćene izraženim toksičnim efektima i često imaju smrtne ishode [1].

Društveni rizik je rizik svih potencijalno povezanih osoba da prilikom akcidenta nastradaju. Primer društvenog rizika za amonijak i hlor u tunelima (slika 1) je prikazan u obliku grafikona tzv.  $F-N$  krivom, koja prikazuje odnos nastradalih lica ( $N$ ) i frekvencije ( $F$ ). U ovom slučaju uzima se u obzir i gustina naseljenosti.



Slika 1. Kriva društvenog rizika za amonijak i hlor u tunelima [2]

Amonijak ima značajnu ulogu u logistici opasnih materija zbog velike primene u industriji i kvantiteta godišnje proizvodnje. Hazardni potencijal amonijaka pored kvantitativne (procenjeni obim godišnje proizvodnje iznosi oko  $130 \cdot 10^6$  tona), ima i svoju kvalitativnu karakteristiku. Međutim, ova kvalitativna karakteristika nema detaljnu distinkciju posledica akcidenata: bez posledica, sa povređenima, sa hospitalizovanim po akcidentu (preživelim ili preminulim) ili fatalnim ishodom akcidenta ni za jednu opasnu materiju, pa ni za amonijak. U analizi logističkih sistema opasnih materija, amonijak je posebno interesantan zbog industrijskog značaja koji generiše veliki obim proizvodnje, a hazardni potencijal implicira veliki broj akcidenata nepredvidivih posledica po bezbednost i zdravlje radnika ili trećih lica.

Na visok hazardni potencijal amonijaka ukazano je u zvaničnom dokumentu Vlade Republike Srbije Procena rizika od katastrofa u Republici Srbiji [12]. U ovom dokumentu izrađenom



2019. godine od strane Ministarstva unutrašnjih poslova, kreirani su reprezentativni scenariji za najverovatnije neželjene događaje i neželjene događaje sa najtežim mogućim posledicama za različite opasnosti.

Jedan od predstavljenih scenarija je neželjeni događaj sa najtežim mogućim posledicama, a to je hemijski udes ispuštanje amonijaka iz skladišnog rezervoara na kompleksu „HIP Azotara” d.o.o. Pančevo (tabela 1). Predviđeno je ispuštanje amonijaka usled oštećenja skladišnog rezervoara kapaciteta 15.000 tona i formiranje toksičnog oblaka. U obzir su uzete i objektivne okolnosti, pre svega starost procesne opreme u fabrici, prisutne količine i svojstva amonijaka, obim mogućih posledica, kao i veliki udesi sa katastrofalnim posledicama koji su se u prošlosti dogodili u svetu na ovakvim ili sličnim kompleksima. Osim toga, u obzir su uzeti i česti udesi manjih razmera koji su se dogodili u fabrici u Pančevu.

Tabela 1. Štićene vrednosti kod akcidenta sa amonijakom [12]

Štićene vrednosti	Kriterijumi
<b>Život i zdravlje ljudi</b>	Procena je da bi ovim scenariom, broj potencijalno ugroženih ljudi bio oko 8.000, a oko 6.400 osoba bilo upućeno na pregled, koji uključuje snimanje i ispitivanje plućnih funkcija.
<b>Ekologija</b>	Procenjuje se da bi ukupna materijalna šteta iznosila oko 11.190.745.000 RSD (93.256.208 €): - gubitak količine amonijaka iz rezervoara oko 321.255.000,00 RSD (2.677.125€), - oštećena oprema oko 12.000.000 RSD (100.000 €), - troškovi rekonstrukcije rezervoara oko 96.000.000 RSD (800.000 €), - troškovi zastoja i gubitka proizvodnje na godišnjem nivou: 60.000 t UREA oko 1.603.800.000, 00 RSD (13.365.000 €), 150.000 t KAN oko 2.821.500.000 RSD (23.512.500 €), 150.00 t SAN oko 3.118.500.000 RSD (25.987.500 €), - troškovi korišćenja sredstva za reagovanje oko 35.640.000 RSD (297.000,00€), - troškovi lečenja ili zdravstvenog zbrinjavanja za 6400 osoba oko 64.000.000 RSD (533.334 €), - monitoring, praćenja kvaliteta vode Dunava i podzemnih voda (7 dana) oko 1.750.000 RSD (14.584 €), - monitoring, praćenja kvaliteta vazduha (7 dana) oko 2.100.000 RSD (17.500€), - monitoring praćenja kvaliteta zemljišta (7 dana) oko 1.750.000 RSD (14.584€), - ekološke posledice (preduzete aktivnosti na revitalizaciji izloženog zemljišta i eko sistema) oko 3.212.550.000 RSD (26.771.250 €).
<b>Društvena stabilnost</b>	Procenjuje se da bi ukupna materijalna šteta iznosila oko 5.701.449.250 RSD (47.512.077 €): - vodoprivreda oko 58.000.000,00 RSD (483.334 €) - snabdevanje stanovništva hranom: voće i povrće, oko 1.548.415.000 RSD (12.903.458 €), žitarice oko 2.716.429.000 RSD (22.636.908 €), industrijsko bilje oko 1.378.605.250,00 RSD (11.488.377 €).

Veličine šticećenih vrednosti kod akcidenta sa amonijakom su predstavljene u tabeli 1. Potencijalna šteta koja bi nastala ispuštanjem amonijaka sa najtežim mogućim posledicama je izuzetno visoka i predstavljala bi značajan “udarac” i za nacionalni budžet.

Zbog potencijalno izuzetno visoke štete prouzrokovane akcidentima sa opasnim materijama, u ovom slučaju na primeru amonijaka, i potencijalno ugroženih subjekata (stanovništvo, okruženje, infrastruktura, itd.), donosioci odluka i nadležno organi moraju biti posvećeni proceni i spečavanju rizika.

Do značajnog unapređenje analize akcidenta je došlo uvođenjem *Seveso* direktiva [3]. Sa druge strane, postoje detaljna istraživanja posledica sa medicinskog aspekta: evidencija dana provedenih na hospitalizaciji ukupno sa analizom intenzivne nege, transplantacije kože, bronhoskopija, itd. Sem za fatalno nastradale, osnovne raspodele rizika i dalje ne postoje, kako za amonijak tako i za ostale opasne materije.

U tom smislu, postoje brojne baze podataka koje prikupljaju informacije o akcidentima sa opasnim materijama. Neke od njih su javne i omogućavaju direktan pristup, dok kod nekih postoji ograničeni pristup. Evropski sistem evidencije akcidenta sa opasnim materijama ima najdužu tradiciju. Prva baza MHIDAS (*Major Hazard Incident Data Service*) je formirana 1956. godine. U ovoj bazi se nalaze dostupni akcidentni po logističkim podsistemima opasnih materija svih klasa. Formiranjem Evropske unije (EU), formirana je nova zajednička baza akcidenta sa opasnim materijama MARS (*Major Accident Reporting System*). Po ugledu na evropske baze akcidenta formiran je veći broj specijalizovanih baza poput: HSEES (*Hazardous Substances Emergency Events Surveillance*) baza podataka koja se koristi za prikupljanje detaljnih informacija o svakom akcidentnom događaju; ARIP (*Accidental Release Information Program*) sadrži podatke o objektima koji su imali značajna oslobađanja ili ispuštanja opasnih materija. MAHB baza (*Major Accident Hazard Base*) se odnosi na EU Seveso II direktive o velikim nesrećama koje uključuju veoma opasne materije, FACTS (*Failure and Accident Technical Information System*) je baza industrijskih i vatrogasnih odeljenja sa više od 25700 akcidenta u koje su uključene opasne materije u proteklih 90 godina.

Relativno dostupne baze podataka su i: OSHA (*United States Department of Labour - Occupational Safety and Health Administration*), ARIA (*Analysis, Research and Information on Accidents*), PSID (*Process Safety Incident Database*), IRDAT (*International Road Traffic and Accident Database*), EPA CEPPPO (*Chemical Accident Histories*); CSB (*Chemical Safety Board Chemical Incidents Report Center*); itd. [9].

Za istraživanje u disertaciji, kao referentne baze korišćene su FACTS i OSHA. Raspoloživim podacima o akcidentima sa amonijakom iz baze FACTS je sprovedena kvalitativna analiza. Baza OSHA sadrži detaljnije podatke o akcidentima i oni su korišćeni za procenu kvantitavnih rizika od opasne materije amonijak.

## 1.2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj disertacije je razvoj modela kvantitativne analize za procenu rizika u logističkom sistemu amonijaka. Na osnovu razvijenog modela moguće je definisati postupke za smanjenje rizika od posledica dejstva opasne materije amonijak. Pored toga, moguće je definisati određene mere preventivnog inženjeringa kako bi se broj neželjenih događaja smanjio.

Jedan od ciljeva istraživanja je definisanje nove metodologije u proceni rizika opasnih materija, a time da se unapredi postojeća metodologija za proračun rizika (*General Guideline for the Calculation of Risks in the Transport of Dangerous Goods by Road*) [4] i proširi na logistički sistem opasnih materija po podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe. Rizik je strateški proračunat za svaki od navedenih podsistema, jer izostavljanjem bilo kojeg dela u lancu snabdevanja, rizik za potencijalni neželjeni događaj značajno se povećava. Korisnici usluga, kao i treća lica koja mogu biti obuhvaćena posledicama akcidentnih situacija sa opasnim materijama, ulaze u skup na koji se može projektovati uticaj neželjenih događaja.

Za referentnu opasnu materiju je izabran amonijak, tečni i bezvodni. Način hazardnog dejstva amonijaka se dalje može diferencirati na direktno ili indirektno. Pod direktnim dejstvom se smatra kontakt opasne materije koji nastaje usled ruptуре opreme i prskanja amonijaka po radnicima (bez obzira na njihov nivo zaštite) i izaziva hemijske opekotine. Indirektno dejstvo podrazumeva preostale mehanizme dejstva nastale od udisanja amonijaka (asfiksije, trovanja,

iritacije), požara ili dejstva mehaničkog pritiska usled oštećenja opreme, povrede od fragmenata eksplozija, itd.

Akcidenti sa amonijakom su klasifikovani u četiri kvalitativne kategorije:

- **I kategorija:** akcident sa amonijakom koji je izazvao lake posledice po zdravlje zbog kojih je učesnik akcidenta morao proći kroz medicinski tretman i procenu oštećenja, ali nije hospitalizovan.
- **II kategorija:** akcident sa amonijakom koji je izazvao teške posledice po zdravlje zbog kojih je učesnik akcidenta hospitalizovan, a krajnji ishod lečenja nije bio letalan.
- **III kategorija:** akcident sa amonijakom koji je izazvao teške posledice po zdravlje zbog kojih je učesnik akcidenta preminuo tokom hospitalizacije, tj. ishod lečenja je bio letalan.
- **IV kategorija:** akcident sa amonijakom zbog kojih je učesnik akcidenta preminuo trenutno ili u pokušaju intervencije i spasavanja, a svakako pre hospitalizacije.

Sistematizacija rizika je izvedena po lokaciji akcidenata u logističkim procesima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe.

Hipoteze u disertaciji su sledeće:

**Hipoteza 1:** *Postoje značajne razlike u kvalitativnom nivou rizika akcidenata sa opasnom materijom amonijak (bazni i bezvodni) između logističkih podsistema.*

**Hipoteza 2:** *Postoje značajne razlike u kvantitativnom nivou rizika po bezbednost i zdravlje učesnika akcidenata sa amonijakom između logističkih podsistema.*

**Hipoteza 3:** *Moguće je formirati model za procenu rizika amonijaka u logističkom sistemu po podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe.*

Cilj istraživanja je da se navedene hipoteze primenom naučnih metoda dokažu (ili opovrgnu) i time značajno proširi teorija rizika opasne materije amonijak, odnosno da se formirani model dokaže kao ispravan i primenljiv za proračun rizika drugih opasnih materija. Realizovanim hipotezama se direktno mogu markirati rizični logistički podsistemi i predložiti dodatne mere za smanjenje rizika, tj. hazardnog potencijala amonijaka u logističkim sistemima opasnih materija.

### **1.3. STRUKTURA DISERTACIJE**

U skladu sa postavljenim hipotezama, definisanim predmetom i ciljevima istraživanja, doktorska disertacija je strukturirana u sedam poglavlja.

Prvo poglavlje je uvodni deo sa kratkim opisom problema istraživanja. Definisani su predmet, ciljevi i hipoteze istraživanja, dato je obrazloženje teme i opisana struktura doktorske disertacije.

U drugom poglavlju je prikazan pregled dosadašnjih istraživanja koji se odnose na procenu rizika od opasnih materija u logističkim sistemima. Posebno su istaknuti radovi koji se odnose na akcidente sa amonijakom. Zbog kompleksnosti logističkih sistema za amonijak i potencijalno katastrofalnih posledica, predstavljeno je više različitih metoda za procenu rizika.

Treće poglavlje definiše aktuelne normativne akte u logističkim sistemima za opasne materije. Iako se inicijalno najveći deo propisa odnosi na transport opasne robe, ustanovljeno je da se uslovi u transportu moraju proširiti i na uslove pretovara i skladištenja od otpreme do dopreme robe. Time su obuhvaćene sve faze logističkog lanca od proizvodnje, preko skladištenja i pretovara do transporta i distribucije. Propisi za transport opasne robe i povezane logističke aktivnosti su regulisani pojedinačno za svaki vid prevoza. Uvažavajući heterogenu strukturu pravnih akata u oblasti opasnih materija, prikazani su pravni akti na međunarodnom i nacionalnom nivou, kao i u okviru EU.

U četvrtom poglavlju opisuju se osnovna svojstva amonijaka, reprezentativne opasne materije korišćene za formiranje modela za proračun rizika po logističkim podsistemima. Iz širokog izbora opasnih materija, amonijak je izabran kao reprezentativni primer zbog svoje široke primene i težine posledica po zdravlje i život ljudi u slučaju akcidenata. Navedena je istorija otkrića amonijaka, njegove fizičke i hemijske osobine, izvori i karakteristike industrijske proizvodnje. U okviru ovog poglavlja opisani su i senzorski sistemi za detekciju amonijaka, kao i primeri velikih akcidenata sa ovom opasnom materijom.

Ključni deo doktorske disertacije je predstavljen u petom poglavlju. U ovom delu je razvijen model za procenu kvalitativnih i kvantitativnih rizika konkretne opasne materije amonijak, primenjen na logističke podsisteme sa pretpostavkama metodologije. Prvo su navedena prethodna kvantitativna istraživanja rizika od amonijaka, kao preduslov za kompletan kvalitativan proračun. Svi akcidenti su raspodeljeni po podsistemima: proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe. Sprovedena je komparativna analiza rizika amonijaka sa pojedinim opasnim materijama. Jasno je predstavljen metod statističke analize podataka. Navedene su osnovne parametarske i neparametarske statističke karakteristike akcidenata sa amonijakom. Urađena je raspodela i analiza rizika za reprezentativnu opasnu materiju amonijak po logističkim podsistemima sa detaljnim grafičkim prikazom po ishodu, tipu dejstva i podsistemu. Proračun primenjen u ovom poglavlju ima veliki praktični značaj, zbog statističkog uočavanja logističkog podsistema sa najvećim rizikom za amonijak.

U šestom poglavlju je standardnim postupkom diskutovano o rezultatima istraživanja dobijenim u okviru disertacije.

Poslednje sedmo poglavlje sadrži zaključna razmatranja i doprinose koji su nastali kao rezultat doktorske disertacije, kao i pravce daljih istraživanja.

Na kraju disertacije navodi se sumarni pregled literature korišćene u radu, dok se zbog bolje preglednosti, na kraju svakog poglavlja daje pregled korišćene literature u datom poglavlju.

## LITERATURA

- [1] Amshel C.E., Fealk M.H., Phillips B.J., Caruso D.M., Anhydrous ammonia burns case report and review of the literature. *Burns* 26, 493–4977, 2000.
- [2] Cassini, P., Hall, R. and Pons, P. *Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels, Quantitative Risk Assessment Model (Version 3.60)*, 2003.
- [3] Direktiva 96/82/EC o kontroli opasnosti velikih udesa, koji uključuju opasne supstance.
- [4] *General Guideline for the Calculation of Risks in the Transport of Dangerous Goods by Road*, United Nations Economic Commission for Europe - UNECE, 2008.
- [5] George A., Bang R.L., Lari A.R., Gang R.K., Kanjoor J.R., Liquid ammonia injury, *Burns* 26(4) 409-413, 2000.
- [6] Grozdanović M., Stojiljković E., *Metode procene rizika*, Niš, 2013.
- [7] <https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm>
- [8] Inić M., Jovanovic D., *Propisi u oblasti saobraćaja*, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2009.
- [9] Janković Z., *Razvoj modela za proračun rizika u logističkim sistemima opasnih materija*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2016.
- [10] Kazantzi, V., Kazantzis, N., & Gerogiannis, V.C., Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 24, Issue 6, 2011, Pages 767-773, doi:10.1016/j.jlp.2011.05.006
- [11] Milovanović, B., *Doktorska disertacija, Prilog razvoju metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja transportuju opasnu robu sa aspekta upravljanja rizikom*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2012.
- [12] *Procena rizika od katastrofa u Republici Srbiji*, Ministarstvo unutrašnjih poslova, Beograd, 2019.
- [13] Pudar, D., Sremac, S., Stojiljković, I., Jovanović, M., Tomić, D., Benefit of application of the software for monitoring vesseles under pressure, 14th International Conference “Road Safety in Local Community”, Kopaonik, Serbia, Vol. 2, pp. 291 – 298, 2019.
- [14] Sremac, S., Ziramov, N., Tanackov, I., Stević, Ž., Ristić, B., Ammonia-risk distribution by logistic subsystems and type of consequence, *Burns*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.07.032>
- [15] Tomić, D., Sremac, S., *Transportation of dangerous goods across cities – amendments in favor of traffic streams identification and facilities protection*, 14th International Conference “Road Safety in Local Community”, Kopaonik, Serbia, ISBN 978-86-7020-419-5, Vol. 2, pp. 261 – 270, 2019.
- [16] *Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama*, Službeni glasnik RS br. 87/2018.
- [17] *Zakon o zaštiti životne sredine*, Službeni glasnik RS br. 135/2004.

## 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U OBLASTI

Poboljšanje opšte bezbednosti je jedan od najvažnijih ciljeva kreatora transportne politike u savremenom društvu i predstavlja strateško pitanje za povećanje kvaliteta života [9], [25]. Standard ISO 39001 Sistem upravljanja bezbednošću drumskog saobraćaja [53] je uveo smernice bezbednosnih aktivnosti usmerene na smanjenje saobraćajnih nezgoda, a u saglasnosti sa standardom ISO 9000 Sistem menadžmenta kvalitetom. Smernice definišu standardno upravljanje za smanjenje rizika na putevima. U tom kontekstu, rizik koji proističe iz logističkih aktivnosti povezanih sa opasnim materijama predstavlja posebnu pretnju kojoj su potrebne strategije i alati za smanjenje stope rizika po društvo, imovinu i okolinu.

Zbog ukupnog kvantiteta dnevnog bilansa od prosečno 4 milijarde tona opasnih materija u svetskom logističkom sistemu [67], rizik je neminovan, a akcidenti su uobičajena svakodnevica. Povećana bezbednost u logističkim sistemima opasnih materija i projektovanje sigurnijih mreža za prevoz su održivi pristupi za smanjenje stope rizika. Osnovni preduslov je procena rizika po logističkim podsistemima u svakodnevnim aktivnostima sa opasnom robom. Analiza i upravljanje rizikom u logističkom sistemu opasnih materija je tema koja nije potpuno razjašnjena, s obzirom da nema univerzalno prihvaćenih definicija i klasifikacije.

Rizik u logističkim sistemima opasnih materija spada u oblast tehničko-tehnološkog rizika. Po Xie i dr. [61], tehničko-tehnološka nesreća je iznenadni i nekontrolisani događaj ili niz događaja koji je izmakao kontroli prilikom upravljanja određenim sredstvima za rad i prilikom postupanja sa opasnim materijama u proizvodnji, upotrebi, transportu, prometu, preradi, skladištenju i odlaganju, kao što su požar, eksplozija, havarija, saobraćajni udes u drumskom, rečnom, železničkom i vazdušnom saobraćaju, udes u rudnicima i tunelima, havarija na naftnim i gasnim postrojenjima, akcidenti pri rukovanju radioaktivnim i nuklearnim materijama, teško zagađenje zemljišta, vode i vazduha. Posledice navedenih akcidenata mogu da ugroze bezbednost, život i zdravlje većeg broja ljudi, materijalna i kulturna dobra ili životnu sredinu.



Intencija za smanjenjem rizika od opasnih materija [21], 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 [34]. Preko 60 godina međunarodnog rada na prevenciji rizika i harmonizaciji propisa u transportu opasnih materija unapredili su ovaj logistički podsistem daleko iznad komplementarnih logističkih podsistema: proizvodnje, skladištenja, pretovara i distribucije/upotrebe.

Kao što je poznato, međunarodni regulativni okvir za prevoz opasnih materija (ADR, RID, ADN, IMDG i IQAO-TI)<sup>1</sup> definiše tehničke sigurnosne zahteve (npr: klasifikaciju, ambalažu, parkiranje i vozila), količine dozvolje za transport, zahteve stručnog osposobljavanja vozača i drugih lica, obaveze o transportnim dokumentima, itd, ali ne daje nikakve specifične indikacije o tome kako upravljati rizikom. U dokumentu Opšte uputstvo za procenu rizika u drumskom transportu opasne robe iz 2008. godine [31], posebno naglašeno u poglavlju 1.9 ADR-a ustanovljenom od komisije UNECE [20], predstavljano je prvo uobličeno modela za proračun rizika u transportu opasnih materija.

Generalno, logistički sistemi za opasne materije imaju kompleksnu arhitekturu i postoji više metoda za procenu rizika. Prevencija rizika u pojedinačnim logističkim podsistemima za opasne materije predstavlja permanentnu temu istraživanja od logistike proizvodnje [1], logistike skladištenja [16], [45], logistike transporta [10] i drugih logističkih aktivnosti.

Tokom poslednjih godina, veći broj istraživača se bavio pitanjem procene rizika u transportu opasnih materija [14]. Ove studije su posebno fokusirane na bezbedan transport cevovodima, železničkim i drumskim transportom. Istraživanje o drumskom transportu opasnih materijala prati tri teme [25]. Prva se odnosi na metodologije za poboljšanje reagovanja u vanrednim situacijama na osnovu svojstava puteva, vremenskih uslova i faktora saobraćaja [47]. Druga se zasniva na metodologijama za istraživanje i analizu rizika od akcidenata iz istorijskih podataka u cilju otkrivanja karakteristika akcidenata kao što su učestalost pojave, posledice i identifikacija uzročnih faktora [8], [17], [24]. Poslednja tema se fokusira na donošenje odluka u cilju poboljšanja izbora odgovarajućih trasa za kretanje vozila sa opasnim materijama [27], [58].

---

<sup>1</sup> Propisi u logističkim sistemima za opasne materije su detaljno predstavljani u poglavlju 3.2.

Generalno, u slučaju akcidenta sa opasnim materijama, može se oštetiti putna infrastruktura, zagađiti životna sredina i ugroziti život i zdravlje ljudi [17]. U vezi sa opasnostima po ljude, drumski prevoz opasnih materija stvara rizik za ljude koji su prisutni na putu (korisnici) i ljude duž puteva (stanovnici) [27]. Stoga je neophodno dobiti informacije o učestalosti i posledicama koje prouzrokuje akcident sa opasnom materijom. Učestalost i uticaji zavise od: posledica akcidenta i njegovog trajanja, kategorije i opasnosti robe, vrste neželjenog događaja, tipa saobraćajnice, okruženja tog područja, strukture puta i drugih faktora.

Conca i dr. [12] su predstavili novi pristup za analizu akcidenata sa fokusom na uzrok koji dovodi do oslobađanja (curenja, isticanja ili sl.) opasnih materija. U radu su analizirane interakcije između saobraćajnog toka i učestalosti akcidenata sa opasnim materijama. Cilj je da se omogući prevozniku da kvantifikuje rizik za svaki specifični prevoz pored operativnih troškova transporta.

Istraživanje i kvantifikacija rizika opasnih materija je izuzetno kompleksan interdisciplinarni zadatak. Od mnogih sistematizacija uzroka, osnovna podela je na generalne i specifične uzroke [15]. Svi pojedinačni uzroci akcidenata sa opasnim materijama mogu se dalje detaljnije diferencirati. Dovoljno je navesti dokazane sezonske [67], nedeljne i dnevne varijacije rizika od akcidenta [60] ili uticaje viših sila [15], [42].

Pored navedenih uzroka, njihove diferencijacije i varijacija, postoji značajna razlika u rizicima od akcidenata u državama EU, ostalim visoko razvijenim državama (USA, Kanada, Japan, Novi Zeland, Norveška) i ostatku sveta. Stepem razvijenosti države i rizik od opasnih materija su u signifikantno obrnutoj proporciji [15]. Identičana tehničko-tehnološka baza za iste opasne materije, u različitim državama rezultira različitim vrednostima rizika. Ekstenziji ove kompleksnosti svakako doprinosi terorizam koji upravo u oblasti opasnih materija [49] [40] može da izazove maksimalne neželjene efekte. Zbog toga, osim interdisciplinarnog stručnog problema, rizik od opasnih materija ima i svoju političku komponentu.

Međutim, i u logističkom podsistemu transporta [27], [57], [64] postoje značajne razlike u analizama rizika za različite vrste transporta opasnih materija. U istraživanjima rizika u okviru transportnog sistema dominiraju drumski i železnički transport [61]. U drumskom transportu [13] koncepti su dominantno zasnovani na planiranju rute [12], [44], [46] i obuci vozača [36].

U železničkom transportu opasnih materija [50] osnovni problem nastaje usled kolizija i iskliznuća [38]. Zbog toga se osnovni rizici proračunavaju za železničke stanice [14], delimično za izbor trase [28] i smanjenje rizika organizacionim postupcima [6]. Postoje i komparativne analize rizika drumskog i železničkog transporta opasnih materija [8] ili analize rizika u intermodalnom kopnenom drumsko–železničkom transportu opasnih materija [35] sa konkretnim predlozima za smanjenje rizika [1]. Istraživanja i analiza rizika u pomorskom transportu [24], [48], unutrašnjim plovnim putevima [22], avio transportu [10] i cevnom transportu [9] opasnih materija su daleko manje zastupljene uz napomenu da postoje komparativne analize rizika [19].

Iako postoji rana distinkcija analize akcidenata u logističkom podsistemu transporta i ostalih komplementarnih logističkih podсистema [32], za sada je rizik u logistici proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i distribucije/upotrebe analiziran samo za Domino efekte [15]. Uz izrazitu dominaciju TNG-a (26,7%) ustanovljen je najveći rizik u logističkom podsistemu skladištenja [34]. Ipak, Domino efekat je sa manje od 1% zastupljen u *world-wide* bazama akcidenata sa opasnim materijama pa se dobijeni rezultat mora uzeti sa rezervom. Takođe, može se konstatovati da je sistemski pristup analizi rizika u logističkim podsistemima (sem transporta) simbolički zastupljen [7], što je donekle i opravdano zbog usmeravanja istraživanja u oblast logistike opasnog otpada [33], [51], [55]. Izuzev Domino efekta, istraživanje uticaja logističkih podсистema na rizike od akcidenata sa opasnim materijama je do sada izvođeno parcijalno ili kao dopuna drugih analiza.

Rizik povezan sa akcidentima koje uključuju opasne materije, privukao je posebnu pažnju istraživača i naučne javnosti pre svega sa aspekta opšte bezbednosti. U literaturi se može pronaći nekoliko radova povezanih sa procenom rizika u logističkim sistemima opasnih materija [40].

U istraživanju Centra za saobraćaj [17], cilj je da se utvrde kriterijumi za izbor ruta za transport opasne robe i da se identifikuju mogućnosti za poboljšanje transportne mreže za prevoz opasne robe, a sve to kako bi se smanjio potencijalni rizik. Definisani kriterijumi za izbor rute su podjednako primenljivi i na druge velike gradove, uz manje izmene za lokalne uslove.

Zhang i dr. [65] su razmatrali rizike koji utiču na ljudsku populaciju preko kontaminacije u vazduhu, definišući ovaj rizik kao produkt verovatnoće od neželjenih posledica (kao što su povrede, bolest ili smrt) i izložene populacije. Procedura procene je strukturirana kroz utvrđivanje verovatnoće neželjenih događaja i procena nivoa potencijalnog izlaganja s obzirom na vrstu događaja i procena veličine posledica (žrtava, povreda, oštećenja imovine) u zavisnosti od nivoa izloženosti.

Pamučar i dr. [43] predlažu višekriterijumski model za procenu troškova i rizika u prevozu opasnih materija izborom rute na mreži gradskih saobraćajnica. Model je zasnovan na primeni ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) metode. Kriterijumi za procenu troškova i rizika su koristeći adaptivnu neurofazi mrežu i metodu veštačke kolonije pčela (ABC - *Artificial Bee Colony*) integrisani u jedinstveni model, a nakon toga je odabir rute vršen pomoću Dijkstra algoritma. Predloženi model je testiran u realnom okruženju u studiji slučaja distribucije nafte i naftnih derivate.

Pojedini autori smatraju da je moguće primeniti kvantitativnu procenu rizika transporta opasne robe [5]. Scenna i Santa Cruz [52] navode da postoji pet komponenti kvantitativne analize rizika za transport opasne robe:

- uključenost vozila sa opasnim materijama u akcident,
- karakteristike akcidenta (vrsta, veličina itd.),
- način oslobađanja opasne materije,
- proračun individualnog i društvenog rizika za svaki segment puta i
- izračunavanje raspodele rizika na određenom području za svaki scenario.

El-Basyouny i dr. [23] su razvili algoritam rutiranja opasne robe na osnovu procene rizika/troškova. Algoritam se fokusira na ublažavanje rizika u transportu opasnih materija izborom odgovarajuće rute. Jednostavnost predloženog pristupa je u “normalizaciji” rizika i operativnih troškova. Ova studija sadrži komponente: simulacija hemijskog oslobađanja, kriterijumi za rutiranje (verovatnoća akcidenta, izloženost stanovništva, vreme putovanja i troškovi) i integracija u GIS bazi podataka.

Tadić i Pamučar [56] su posebnu pažnju posvetili planiranju transporta opasne robe u urbanim sredinama. Razvijeni model se sastoji od multikriterijumske analize rizika i tradicionalnog Dijkstra algoritma. Model je testiran u slučaju transporta opasnih materija za potrebe Ministarstva odbrane Republike Srbije. Definisani su kriterijumi: troškovi transporta, brzina odgovora u slučaju akcidenta, ekološki rizik, rizik od saobraćajnih nezgoda, posledice po stanovništvo u slučaju akcidenta, rizik za infrastrukturu i rizik terorističkog napada. Predloženi model proširuje teorijski okvir znanja iz oblasti rutiranja opasne robe i prikazuje višestruke aspekte procene rizika na mreži puteva koji nisu objedinjeni u dosadašnjim modelima, a koji su važni za ovu oblast.

Starčević i Gošić [54] primenom predložene metodologije za izbor trase u transportu opasnog tereta, procenili su rizik pri transportu nafte i naftnih derivata. Primenjena metodologija za izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta, sastoji se od 11 osnovnih koraka kojima su obuhvaćene sve tri faze upravljanja rizikom od akcidentne situacije. Prilikom izbora trase za realizaciju transportnih zadatka mora da se izvrši njena procena sa aspekta rizika od nastanka akcidentne situacije.

Cassini u radu [10] objašnjava korišćenje kvantitativne procene rizika QRA (*Quantitative risk assessment*) i bavi se scenarijima potencijalnih akcidenata, njihovom verovatnoćom i mogućim posledicama. Za svaki scenario urađene su zone uticaja i određene verovatnoće pojave. QRA procena rizika u transportu opasnih materija pomaže u izboru rute, a sve u cilju minimiziranja rizika od nastanka akcidenta.

Torretta i dr. su predstavili pregled iskustava sa softverskim sistemima za procenu rizika u transportu opasne robe [58]. Predstavljeno je šest sistema: HAMER (*HAzardous Material Emergency Response system*), HAZMAT PATH Spatial DSS (SDSS), TrHaM (*Transport of Hazardous Materials*), TrHazGis – Transportation Hazardous GIS, TRAT-GIS 4.1 (*Transportation Risk Analysis*), DESTINATION project 2014 – SIIG (*Sistema Informativo Integrato Globale - Global Integrated Information System*). Za sve sisteme je dat pregled upravljanja rizikom, transport opasnih materija i teritorijalno planiranje. Nivo razvoja postojećih softverskih sistema je prilično napredan i unapređen poslednjih godina.

Poznato je da rizik u transportu opasnih materija može drastično da se smanji planiranjem ruta minimizirajući verovatnoću akcidenta ili očekivane posledice akcidenta [68]. Androutsopoulos i Zografos se pomoću softvera HAMER [69] bave planiranjem, usmeravanjem i raspoređivanjem vozila u transportu opasnih materija primenom najkraće distance i minimiziranjem troškova [2]. Istraživanje je fokusirano na razvoj matematičkih modela i algoritama za određivanje sigurnih i ekonomičnih ruta opasnih materija u grafičkom interfejsu sa GIS-om. Ruta distribucije opasnih materija uključuje usluge isporuke na više lokacija u gradskom i prigradskom području. Računarske performanse predloženog algoritma ukazuju da je za rešavanje problema transporta opasnih materija potrebno određeno vreme i daje mogućnost donosiocu odluke da proceni alternativna rešenja u odnosu na vreme putovanja i potencijalni rizik.

Frank [28] diskutuje o različitim strategijama koje treba pratiti kako bi se umanjio rizik. Pored toga, odabir rute koja prolazi kroz mesta sa manje populacije smanjuje broj ljudi koji su izloženi riziku. Konstrukcija vozila, tank kontejnera, ambalaže i pokretne opreme pod pritiskom treba da bude takva da smanjuje mogućnost curenja, ispuštanja ili izlivanja opasne materije. Takođe, kvalitetnim stručnim osposobljavanjem vozača i drugih učesnika u logističkim aktivnostima sa opasnim materijama, smanjuje se mogućnost nastanka akcidenata. Pažljiv odabir rute pomoću HAZMAT PATH [28] smanjuje verovatnoću nastanka akcidenta. Zahvaljujući interaktivnosti alata, omogućava se lako poređenje rešenja i procena kriterijuma za odlučivanje. U poređenju sa drugim rešenjima za procenu rizika koji su u osnovi kreirani za male transportne mreže, ovaj softver radi na mrežama većeg obima.

TrHaM [58] omogućava kvantifikaciju ukupnih rizika povezanih sa prevozom opasnih materija duž različitih ruta. Na ovaj način TrHaM pomaže donosiocima odluka u planiranju transportnih aktivnosti. TrHaM procenjuje raspodele rizika i prikazuje rezultate putem GIS-a. U proceni rizika razmatraju se i lokacije za koje je karakteristično veće prisustvo stanovništva (npr. škole, bolnice, trgovački centri, turističke destinacije ili stadioni). Struktura ovog programa se sastoji od: baze podataka, modula za procenu rizika, modula za upravljanje transportom i grafički interfejs. Algoritam je razvijen u jeziku Visual Basic. Softver je direktno testiran i primenjen na studiji slučaja predstavljenoj u [59].

Program TrHazGis za procenu rizika [8] kombinuje informacije u vezi sa transportnim podacima iz TrHazDat baze podataka i podatke u GIS Mapi rizika kako bi se izračunali individualni i društveni rizici . Baza podataka sadrži sledeće informacije : fizičko stanje proizvoda tokom transporta, granice zapaljivosti i toksičnosti; verovatnoće ozbiljnog ili katastrofalnog oslobađanja proizvoda posle akcidenta; verovatnoće razvoja akcidenta: zapaljivost, zagađenje, eksplozija itd., rastojanja i uglova koji identifikuju zone uticaja na koje se odnosi svaka opasnost od akcidenta i vremenskih uslova. U programu za procenu rizika korisnik bira opasnu materiju i obim prevoza u sezoni , označavajući period u kojem prevoz treba da se realizuje. Na osnovu unosa podataka, program bira vrednosti akcidenta za svaki deo rute.

TRAT-GIS [40] analizira i kvantifikuje rizik povezan sa prevozom opasne robe drumom, železnicom i gasovodom. Podeljen je na dva dela: TRAT Windows, koji upravlja operacijama nezavisno od GIS-a, na primer kreiranje baze podataka, i TRAT-GIS, koji sakuplja i obrađuje prostorne podatke i povratne informacije putem interfejsa stvorenog u ArcView GIS. Softverska struktura se sastoji od četiri jedinice:

- grafički interfejs kreiran u ArcView koji omogućava korisnicima da unose demografske i geografske informacije u baze podataka;
- aplikacija TRAT.EXE, koja omogućava uvođenje podataka i deluje kao veza između baze podataka i računarske jedinice;
- baza podataka sa ulaznim i izlaznim podacima;
- procesne jedinice koje obavljaju potrebne proračune procene rizika.

Model analize rizika razvijen od strane Giacone i dr. [30], pruža podršku učesnicima u transportu opasne robe u svim fazama prevoza. Model pruža informacije o dostupnim skupovima podataka o teritorijalnom i ekološkom ugrožavanju. U istraživanju je razmatrano 58 opasnosti od interesa za projekat „DESTINATION“ i 10 opasnih materija koje predstavljaju glavne izvore opasnosti u scenarijama akcidenta. Jedan od glavnih ciljeva projekta je definisanje modela analize rizika drumskog transporta opasnih materija, koji može da uzme u obzir i ugroženost životne sredine. Sistem se može koristiti za planiranje zaštite životne sredine na lokalnom nivou. Uključuje različite vrste obrade čiji je cilj izračunavanje rizika u različitim vremenskim uslovima i okruženju. Omogućava procenu kumulativnih posledica različitih scenarija akcidenta i potencijalni rizik koji može nastati simuliranjem scenarija i nastale štete.

U disertaciji [34], Janković je istraživao rizike od akcidentnih situacija opasnih materija u logističkom sistemu s podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe/distribucije. Svi izvedeni zaključci zasnovani su na aposteriori analizi akcidenata. Prikazani rezultati su samo jedna od rezultanti vizionarskog uočavanja eksperata o neophodnosti permanentne analize akcidenata s ciljem smanjivanja rizika i povećanja ekonomskog benefita neizostavnih opasnih materija u svim granama ljudske proizvodnje. 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 na proračunu rizika po život i zdravlje ljudi.

Krstić je u radu [36] predstavio da potpuna zaštita od opasnih materija ne postoji. To bi bilo moguće, jedino u situaciji, kada se one ne bi proizvodile, koristile i transportovale. Primena opasnih materija danas je neophodna. To upućuje na zaključak da rizik od štetnog dejstva opasnih materija, po zdravlje živih bića i očuvanje prirodnih resursa i materijalnih dobara, odgovarajućim merama, treba smanjiti na najmanju moguću meru. Pored rizika prilikom transporta, ne mogu se izbeći rizici prilikom utovara i istovara opasnih materija. Kvantifikovanje rizika je realizovano preko: verovatnoće nastanka akcidentnog događaja; skupa potencijalno ugroženih objekata, koji zavise od karakteristika same opasne materije, količine materija koje se prevoze u transportnom sredstvu i karakteristika okruženja u kome se akcident dogodio; intenziteta ugrožavanja, tj. broja objekata zahvaćenih dejstvom opasnih materija i oblika i obima preventivnih aktivnosti. Za oblast prevoza opasnih materija, neophodno je naučno i analitičko sagledavanje rizika akcidenata, njegovog stepena širenja i procene posledica na ljude, prirodu i objekte.

Problem procene rizika je sagledavan i sa sezonskog uticaja posebno za amonijak [67], ali u okviru Domino efekta [15] amonijak nije posebno razmatran. Pored frekventnih akcidenata sa poznatim posledicama, potrebno je napomenuti da je amonijak uzrok nekih od najčuvenijih katastrofalnih posledica (Teksas 1947, preko 500 fatalnih ishoda, Dakar 1992, preko 100 katastrofalnih ishoda).



Zhang i dr. [66] su ispitivali ekološki rizik jedinjenja amonijaka u sedam najvećih reka u Kini. Istraživali su vremensku (sezonska/godišnja) i prostornu raspodelu amonijaka na osnovu podataka od 2007. do 2014. godine i razvili model za procenu rizika. Rezultati su pokazali da se najveće prosečne koncentracije amonijaka u vodi pojavljuju tokom leta, a najniže tokom zime. Primenjene su konvencionalne i probablističke metode za procenu opasnosti i ekološkog rizika amonijaka.

Danas hemijska industrija proizvodi, skladišti i transportuje sve više opasnih materija i stoga rizik od akcidenata ovih hemikalija može postati sve katastrofalniji u kontekstu povećanja broja stanovnika i njihovih potreba. Po Anjanu [3], potencijal štete proporcionalan je broju stanovnika na datoj lokaciji, kao i raznim meteorološkim faktorima i geografskim karakteristikama. Skladište u industrijskoj zoni je uzeto kao uzorak za procenu rizika od toksičnosti amonijaka. Model disperzije zagađenja (ALOHA) korišćen je za predviđanje toksičnosti oslobođenog amonijaka. Model procenjuje ranjiva područja koja su pogođena toksičnim delovanjem amonijaka, uzimajući u obzir vremenske uslove i uslove ispuštanja amonijaka. Procena rizika je urađena za četiri različita tipa atmosferskih uslova. Da bi se odredilo ugroženo stanovništvo, korišćena je metoda interpolacije u interfejsu sa GIS-om. Ovakve studije mogu poslužiti kao efikasno sredstvo za donosiocel odluka da pripreme plan za hitne intervencije u slučaju akcidenata sa amonijakom.

Ipak, pored poznatih hemijskih karakteristika, industrijskog potencijala, privrednog značaja, dokumentovanih aposteriori posledica, katastrofalnih akcidenata, frekventnog broja akcidenata sa velikim brojem povređenih (posebno u velikim rashladnim sistemima) [64], bez obzira na usavršavanje senzorskih sistema [38], [57] i značajnim brojem fatalnih ishoda, do sada ne postoje studije ili radovi koji se odnose na rizik opasne materije amonijak po logističkim podsistemima, od proizvodnje do upotrebe.

Pored bogate i duge istorije, amonijak je i dalje jedna od dominantnih stručnih i naučnih tema istraživanja. U protekloj deceniji, samo u časopisima sa impakt faktorom, produkcija radova koji obrađuju mnogobrojne aspekte amonijaka je bila dovoljna za formiranje tematskog časopisa visokog ranga. Pretraga po ključnoj reči “*ammonia*” na *Science Direct* je u 2016. godini imala 16.006 rezultata, u 2017. godini 17.777 rezultata, a u 2018. preko 20.000 rezultata. Zbog toga, iluzoran je sveobuhvatan pregled literature na temu amonijaka.

## LITERATURA

- [1] Alhabdan F.M., Elnashaie S.S.E.H., Simulation of an ammonia plant accident using rigorous heterogeneous models: Effect of shift converters disturbances on the methanator, *Mathematical and Computer Modelling*, 21(4), pp. 85-106, 1995.
- [2] Androutopoulos, K.N., Zografos, K.G., Solving the bicriterion routing and scheduling problem for hazardous materials distribution, *Transportation Research Part C Emerging Technologies* 18(5):713-726, 2010.
- [3] Anjana, N.S., Amarnath, A., Harindranathan Nair, M.V., Toxic hazards of ammonia release and population vulnerability assessment using geographical information system, *Journal of Environmental Management*, Volume 210, pp. 201-209, 2018.
- [4] Assadipour, G., Ke, G. Y., Verma, M., Planning and managing intermodal transportation of hazardous materials with capacity selection and congestion, *Transportation Research Part E*, 76, pp. 45–57, 2015.
- [5] Baksh, A.A., Khan, F., Gadag, V., Ferdous, R., 2015. Network based approach for predictive accident modelling. *Saf. Sci.* 80, 274–287.
- [6] Bersani, C., Papa, F., Sacile, R., Sallak, M., Terribile S., Towards dynamic exposure-based schedule for hazardous material trains, *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 6, pp. 116-127, 2016.
- [7] Bernechea, E. J., Viger, J. A., Design optimization of hazardous substance storage facilities to minimize project risk, *Safety Science*, 51, pp. 49–62, 2013.
- [8] Bubbico, R., Cave, S., Mazzarotta, B., Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17, 483–488, 2004.
- [9] Bubbico, R., Carbone, F., Ramírez-Camacho, J.G., Pastor, E., Casal, J., Conditional probabilities of post-release events for hazardous materials pipelines, *Process Safety and Environmental Protection*, 104, pp. 95–110, 2016.
- [10] Cassini, P. Road transportation of dangerous goods: quantitative risk assessment and route comparison, *Journal of hazardous materials*, vol. 61., pp. 133-138., 1998.
- [11] Changa, Y.H., Yehb, C.H., Liua, Y.L., Prioritizing management issues of moving dangerous goods by air transport, *Journal of Air Transport Management*, 12, pp. 191–196, 2006.
- [12] Conca, A., Ridella, C., Saponi, E., A risk assessment for road transportation of dangerous goods: a routing solution, *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 2890–2899. 2016.
- [13] Cordeiro, F.G., Bezerra, B.S., Peixoto, A. S. P., Ramos, R. A. R., Methodological aspects for modeling the environmental risk of transporting hazardous materials by road, *Transportation Research Part D*, 44, pp. 105-121, 2016.
- [14] Cozzani, V., Bonvicini, S., Spadoni, G., Zanelli, S., Hazmat transport: A methodological framework for the risk, analysis of marshalling yards, *Journal of Hazardous Materials*, 147, pp. 412–423, 2007.
- [15] Cruz, A.M., Krausmann, E., Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, 59–6, 2009.
- [16] Cvetanović, C., Fire Safety at Natural Gas Warehouses, *International Cymposium Utilisation of Natural Gas*, Makedonia, Skopje, 2000.

- [17] Dangerous goods route selection criteria, Centre for Transportation Engineering & Planning, 2003.
- [18] Darbra, R.M., Palacios, A., Casal, J., Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences, *Journal of Hazardous Materials*, 183, pp. 565–573, 2010.
- [19] Di Fazio A., Bettinelli, D., Louette, E., Mechin, J.P., Zazza, M., Vecchiarelli, P., Domanico, L., European pathways to introduce EGNOS and Galileo for dangerous goods transport, *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 1482–1491, 2016.
- [20] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, *Official Journal of the European Union L 167*, 2004.
- [21] Directive 96/82/EC on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, *Official Journal L 010*, P. 001-033, 1997.
- [22] Dobbins, J. P., Abkowitz, M. D., Development of a centralized inland marine hazardous materials response database, *Journal of Hazardous Materials B*, 102, pp. 201–216, 2003.
- [23] El-Basyouny, K., Cheng, D., Lim, C., & Sayed, T., Risk/Cost-based Algorithm for the Routing of Dangerous Goods. Annual Conference of the Transportation Association of Canada, 2009.
- [24] Ellis, J., Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea, *Safety Science*, 49, pp. 1231–1237, 2011.
- [25] Elvik, R., Voll, N.G., Challenges of improving safety in very safe transport systems. *Safety Science*, 63, 115-123, 2014.
- [26] Erkut, E., Ingolfsson, A., Transport risk models for hazardous materials: revisited. *Operations Research Letters*, 33, pp. 81–89, 2005.
- [27] Erkut, E., Tjandra, S.A., Verter, V., Hazardous Material Transportation, *Handbook in OR & MS*, C. Barnhart and G. Laporte (Eds.) Elsevier, 2007.
- [28] Frank, W.C., Thill, J.C., Batta, R. Spatial decision support system for hazardous material truck routing, *Transportation Research Part C*, Vol. 8, No. 1-6, pp. 337-359, 2000.
- [29] Glickman, T.S., Erkut, E., Zschocke, M. S., The cost and risk impacts of rerouting railroad shipments of hazardous materials, *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp. 1015–1025, 2007.
- [30] Giacone, M. O., Brattaa, F., Gandinib, P., Studerb, L. Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory, *Chemical Engineering Transactions*, 26, pp. 579-584, 2012.
- [31] General Guideline for the Calculation of Risks in the Transport of Dangerous Goods, Working Party on the Transport of Dangerous Goods WP.15, UNECE, 2008.
- [32] Haastrup, P., Brockhoff, L., Severity of accidents with hazardous materials: a comparison between transportation and fixed installations, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 3, pp. 395–405, 1990.
- [33] Hu, T. L., Sheu, J. B., Huang, K. H., A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E*, 38, pp. 457-473, 2002.
- [34] Janković Z., Razvoj modela za proračun rizika u logističkim sistemima opasnih materija, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2016.
- [35] Jiang, Y., Zhang, X., Ronga, Y., Zhanga, Z., A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation based on multi-commodity flow model, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 138, pp. 791–799, 2014.
- [36] Krstić, V., Krstić, B., Mogućnost određivanja ekološkog rizika pri transportu opasnih materija, 7. Naučno istraživački skup sa međunarodnim učesćem „KVALITET 2011“, Neum, 2011.

- [37] Kuncyć, R., Laberge-Nadeau, C., Crainic, T. G., Read, J. A., Organisation of truck-driver training for the transportation of dangerous goods in Europe and North America, *Accident Analysis and Prevention*, 35, pp. 191–200, 2003.
- [38] Lee, S.K., Chang, D., Kim, S.W., Gas sensors based on carbon nanoflake/tin oxide composites for ammonia detection, *Journal of Hazardous Materials*, 268, pp. 110–114, 2014.
- [39] Liu, X., Saat, M.R., Barkan, C.P.L., Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation, *Journal of Hazardous Materials*, pp. 276, pp. 442–451, 2014.
- [40] Milazzo, M. F., Ancione, G., Lisi, R., Vianello, C., Maschio, G., Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, pp. 625–633, 2009.
- [41] Milovanovic B, Doktorska disertacija, Prilog razvoju metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja transportuju opasnu robu sa aspekta upravljanja rizikom, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2012.
- [42] Ohtani, H., Kobayashi, M., Statistical analysis of dangerous goods accidents in Japan, *Safety Science*, 43, pp. 287–297, 2005.
- [43] Pamučar, D., Ljubojević, S., Kostadinović, D., Đorović, B., Cost and risk aggregation in multi-objective route planning for hazardous materials transportation—A neuro-fuzzy and artificial bee colony approach, *Expert Systems with Applications*, Volume 65, 2016, pp. 1-15.
- [44] Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T., Qureshi, A. G., Bi-objective decision support system for routing and scheduling of hazardous materials, *Socio-Economic Planning Sciences*, 48, pp. 135-148, 2014.
- [45] Praveen, P., Nagendra, S., 2015. Hazard evaluation using ALOHA tools in storage area of an oil refinery. *International Journal of Renewable Energy Technology*, 4, 203-209.
- [46] Qiao, Y., Keren, N., Mannan, M. S., Utilization of accident databases and fuzzy sets to estimate frequency of HazMat transport accidents, *Journal of Hazardous Materials*, 167, pp. 374–382, 2009.
- [47] Ristić, S., Unapređenje modela angažovanja interventnih timova u hemijskim akcidentima izazvanim transportom opasnih materija, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet bezbednosti, 2015.
- [48] Rømer, H., Brockhoff, L., Haastrup, P., Styhr Petersen, H.J., Marine transport of dangerous goods. Risk assessment based on historical accident data, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 6, pp. 219-225, 1993.
- [49] Reilly A., L. Nozick, N. Xu, D. Jones, Game theory-based identification of facility use restrictions for the movement of hazardous materials under terrorist threat, *Transportation Research Part E*, 48, pp.115–131, 2012.
- [50] Saat, M. R., Wertha, C. J., Schaeffer, D., Yoonb, H., Barkan, C.P.L., Environmental risk analysis of hazardous material rail transportation, *Journal of Hazardous Materials*, 264, pp. 560–569, 2014.
- [51] Samanlioglu, F., A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 226, pp. 332-340, 2013.
- [52] Scenna, N.J., Santa Cruz, A.S.M. Road risk analysis due to the transportation of chlorine in Rosario city, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 90, No.1, pp. 83-90, 2005.
- [53] Standard SRPS ISO 39001:2016, Sistemi upravljanja bezbednošću drumskog saobraćaja (BDS) - Zahtevi sa uputstvima za upotrebu.

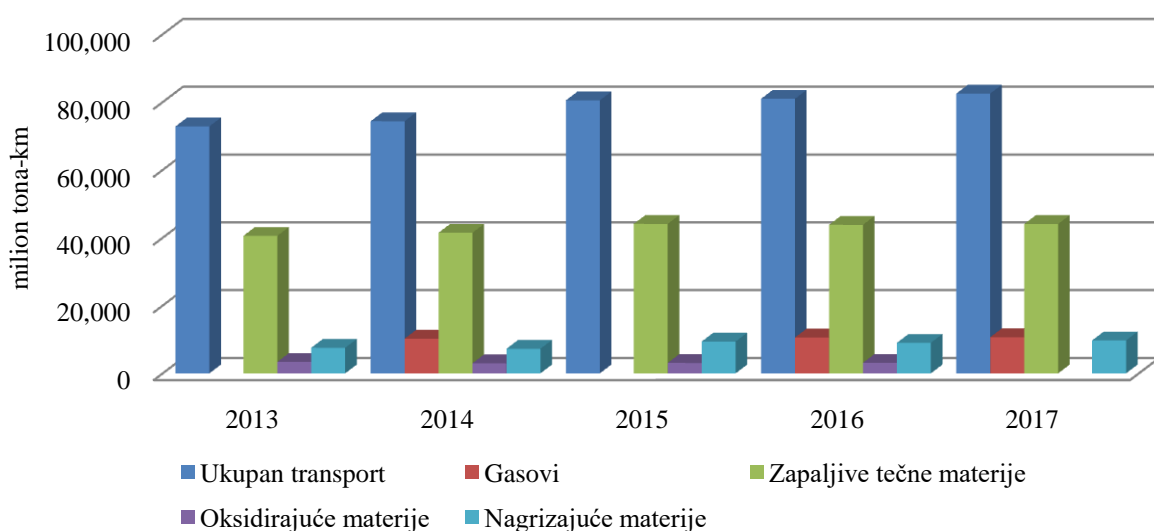
- [54] Starčević S., Gošić A., Studija slučaja, Metodologija za izbor trase za transport opasnog tereta, Beograd, 2013.
- [55] Sheu, J. B., A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes, *Computers & Operations Research*, 34, pp. 1442-1462, 2007.
- [56] Tadić, M., Pamučar, D., Optimization of dangerous goods transport from aspect of risk management in urban zone, *International Conference on Management, Engineering and Environment ICMNEE 2018*, Obrenovac, Republic of Serbia, 2018.
- [57] Tang, Y.L., Li, Z.J., Ma, J.Y., Su, H.Q., Guo, Y.J., Wang, L., Du, B., Chen, J.J., Zhou, W., Yu, Q.K., Zu, X.T., Highly sensitive room-temperature surface acoustic wave (SAW) ammonia sensors based on  $\text{CO}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  composite films, *Journal of Hazardous Materials*, 280, pp. 127–133, 2014.
- [58] Torretta, V., Rada, E. C., Schiavon, M., & Viotti, P. Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review. *Safety science*, 92, pp. 1-9, 2017.
- [59] Torretta, V., Raboni, M., Copelli, S., Urbini, G., Application of a decision support system to the transport of hazardous materials. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12 (12), pp. 2031–2039, 2013.
- [60] Van Raemdonck, K., Macharis, C., Mairesse, O., Risk analysis system for the transport of hazardous materials, *Journal of Safety Research*, 45, pp. 55–63, 2013.
- [61] Xie, Y., Lu, W., Wang, W., Quadrifoglio, L., A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation, *Journal of Hazardous Materials*, pp. 135–141, 2012.
- [62] Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama, *Službeni glasnik RS br. 87/2018*.
- [63] 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, pp. 686–693, 2012.
- [64] Zhang, F., Zheng, X.F., Ma, B., Fan, H.M., Wang, G.Y., Xia, Z.F., Mass chemical casualties: Treatment of 41 patients with burns by anhydrous ammonia, *Burns*, 41(6), pp. 1360-1367, 2015.
- [65] Zhang, J., Zhao, L., Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation, 27, pp. 117–122, 2007.
- [66] Zhang, L., Xu, E.G., Li, Y., Liu, H., Vidal-Dorsch, D., Giesy, J.P., Ecological risks posed by ammonia nitrogen (AN) and un-ionized ammonia ( $\text{NH}_3$ ) in seven major river systems of China, *Chemosphere*, Volume 202, pp.136-144, 2018.
- [67] Zimmerman, L.I., Lima, R., Pietrobon, R., Marcozzi, D., The effects of seasonal variation on hazardous chemical releases, *Journal of Hazardous Materials*, 151, pp. 232–238, 2008.
- [68] Zografos, K. G., Androutsopoulos, K. N., A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, *European Journal of Operations Research*, 152, pp. 507–519, 2004.
- [69] Zografos, G.K., Androutsopoulos, K.N., A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions. *Transportation Research: Part C*, 16, pp. 684–703, 2008.

### 3. LOGISTIČKI SISTEMI ZA OPASNE MATERIJE

Postojeći logistički sistemi za opasne materije intenzivno se razvijaju već 60 godina. Generacije stručnjaka iz različitih oblasti, pre svega hemijske struke i inženjera svih potrebnih profila, permanentno su razvijali tehničko-tehnološke sisteme za bezbedan transport, skladištenje, pretovar i druge povezane logističke aktivnosti.

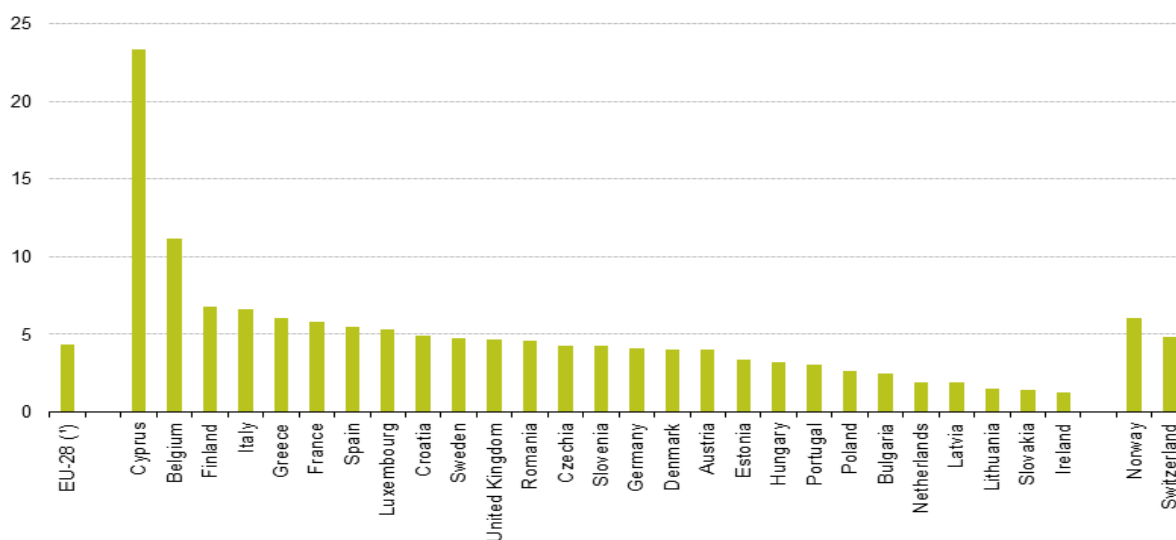
Svojstva opasnih materija su takva da postojanjem, upotrebom ili korišćenjem stvaraju povećanu opasnost za okruženje, pre svega ljude i životnu sredinu. Razorna moć pojedinih opasnih materija je takva da može dovesti do katastrofalnih posledica. Transport ovih materija generiše velike rizike po okruženje i oni se ne mogu izbeći, jer će zahtevi za njihovim prevozom na određenim relacijama uvek postojati.

Podaci o transportu opasnih materija na teritoriji EU u periodu 2013-2017. godina, kao i pojedinačne vrednosti za određene klase opasnih materija, su predstavljeni na slici 2. Može se primetiti trend rasta transporta opasnih materija, što je već konstatovano u uvodnom poglavlju. Posebno je interesantan transport gasova, jer uključuje amonijak kao referentnu opasnu materiju u disertaciji.



Slika 2. Transport opasnih materija u EU [10]

Na slici 3 je prikazano procentualno učešće transporta opasne robe u ukupnom prevozu po državama EU za 2017. godinu. Većina država ima učešće u rasponu od 4% do 6%. Znatno veći udeo u transportu opasne robe ima Kipar sa 23,4% i još se ističu Belgija sa 11,1% i Finska sa 6,8%. Najmanju vrednost beleže Irska, Slovačka i Litvanija sa svega 2,3% učešća transporta opasne robe u ukupnom prevozu.



Slika 3. Procentualno učešće transporta opasne robe u drumskom saobraćaju na teritoriji EU za 2017. godinu [10]

U logističkim sistemima za opasne materije, transport predstavlja tehnološki najzahtevniju uslugu. Standardi i zahtevi koje moraju da ispune i zadovolje svi učesnici, infrastruktura i osnovna sredstva (ambalaža, pokretna oprema pod pritiskom, cisterne, vozila, kola cisterne i brodovi), prevazilazi standarde i zahteve koji se u opštem slučaju postavljaju pred transport drugih vrsta robe. Za sve vidove prevoza, a pogotovo drumski, sve aktivnosti povezane sa prevozom opasnih materija (skladištenja, pretovara i dr.) će i dalje rasti, što može predstavljati dodatni rizik za same učesnike, ali takođe i za neposredno okruženje (prirodu i stanovništvo).

Logistički sistemi za opasne materije imaju različite nivoe istraživanja i na strateškom nivou ne sme se izostaviti ni jedan deo, inače će se rizik za potencijalni neželjeni događaj značajno povećati. U suprotnom, nerealno je matematički ili analitički opisati čitav sistem s nadom da će imati samo jedno realno i konačno rešenje za tako složen problem. Stoga, neophodno je razviti odgovarajuću metodologiju za analizu i procenu rizika u transportu opasnih materija i povezanim logističkim podsistemima.

Kompleksnost problematike opasnih materija zahteva i poseban pristup u razvoju kvaliteta pružanja logističkih usluga. Imajući u vidu postojanje izuzetno visokog rizika prilikom realizacije logističkih aktivnosti sa opasnom robom i u cilju efikasnog upravljanja rizikom od nastanka akcidentnih situacija, neophodno je sprovesti niz međusobno zavisnih procedura. Takođe su potrebne informacije o karakteristikama opasne robe (vrsta opasne robe, količina, vrsta i stepen opasnosti, zona uticaja), broju akcidentnih situacija u prethodnom periodu po klasama opasne robe, veličini posledica po stanovništvo i životnu sredinu od akcidentnih situacija u prethodnom periodu i kapacitetima službi za reagovanje u slučaju nastanka neželjenog događaja (hitna pomoć, vatrogasci, policija).

### **3.1. SPECIFIČNOSTI LOGISTIČKIH SISTEMA ZA OPASNE MATERIJE**

Generalno, pojam logistički sistem može biti zastupljen u svakoj ljudskoj stvaralačkoj delatnosti kao etimološka sinteza logistike i sistema. Opšta, sveprihvaćena definicija logističkog sistema ne postoji. U predloženim definicijama od strane logističkih eksperata, uvek se apostrofira jedna prevalencija koja ističe osnovni cilj logističkog sistema, a to je povećanje kvaliteta usluga i minimizacija troškova. Snadbevanje proizvodnje, unutrašnja ili spoljna logistika, skladištenje sa upravljanjem zalihama, upravljanje robnim tokovima, energetskim tokovima, informacionim tokovima, logističke funkcije pakovanja, pretovar, transport, distribucija, špedicija, city logistika, logističke strategije, lanci snadbevanja, lanci prikljupljanja otpada itd. su organizaciono tehnički kompleksi koji se ne mogu u potpunosti opisati jednom definicijom. Pored toga, logistički sistem je zasnovan na predefinisanim ciljevima koji se mogu naći u potpunim krajnostima. Na primer, od logističkih sistema hitnih medicinskih službi kojima je osnovni cilj očuvanje vitalnih životnih funkcija ugroženih lica, do vojnih logističkih sistema kojima je krajnji, po vojnim konvencijama nepoželjan, ali planirani cilj, upotreba sile u cilju ugrožavanja vitalnih funkcija protivnika.

U ovom širokom logičkom dijapazonu, nisu postojale intencije stručnih organizacija za definisanje pojma logističkih sistema za opasne materije. Širina logističkih sistema za opasne materije se jednostavno ističe i dokazuje osnovnom klasifikacijom opasnih materija



razvrstanih formalno u IX klasa, stvarnih XIII klasa, i nižom sistematizacijom nekoliko hiljada opasnih materija. S obzirom na problematiku koja je razmatrana u radu i na strukturu raspoloživih podataka, analiza akcidenata sa amonijakom je izvršena po sledećim tehnološkim celinama: u proizvodnji, transportu, pretovaru, skladištenju i pri upotrebi.

Za razliku od standardnih logističkih sistema koji funkcionišu u okviru poslovnih sistema, a kojima je osnovni cilj povećanje profita uz obavezno povećanje nivoa kvaliteta usluge, skraćanje vremena isporuke i smanjenje troškova, u logističkim sistemima za opasne materije osnovni cilj je bezbednost – prevencija svih posledica koje mogu nastati iz specifičnih osobina opasnih materija do potpune eliminacije rizika od akcidenta. Kvalitet usluge isporuke, brzina isporuke, troškovi isporuke i ostali standardi konvencionalnih logističkih sistema u slučaju opasnih materija su podređeni primarnom cilju – bezbednosnom. Svi ostali ciljevi su zastupljeni, ali su kao sekundarni i tercijalni bezkompromisno podređeni primarnom.

Međutim, sa stanovišta prakse i velikog broja faktora koji negativno utiču na ovaj idealistički cilj, nije moguće formirati protokol apsolutne bezbednosti svih neophodnih operacija sa opasnim materijama. Realni uslovi koji dovode do akcidenta su najčešće ustanovljeni ekspertizama. Svakodnevno se ustanovljuju novi uzroci akcidenata sa opasnim materijama. I pored najboljih mera prevencije, u logističkim sistemima za opasne materije uvek je aktuelan *a posteriori koncept* “učenja na greškama” sa obaveznom inkorporiranjem negativnih iskustava u nove naprednije protokole prevencije akcidenata. Dosledna i sveobuhvatna analiza akcidenata je osnova statističkog skupa svih uslova i posledica akcidenata, koja je za potrebe probablističkih analiza rizika egzaktno sistematizovana u bazama podataka.

Specifičnosti i diferencijacija logističkih sistema za opasne materije je proistekla na osnovu sistematizacije podataka akcidenata u podsystemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i distribucije/upotrebe (zavisno od vrste opasne materije). Baze podataka o akcidentima sa opasnim materijama koje su korišćene kao referentne za istraživanje u doktorskoj disertaciji - OSHA i FACTS, sistematizovale su svaki akcident po lokaciji neželjenog događaja u jedan od navedenih logističkih podsystema. Svaki od ovih podsystema ima isključivo svoje strogo definisane protokole. Ovi protokoli su sadržani u obaveznim propisima za opasne materije koji su harmonizovani na međunarodnom nivou, od međunarodno potvrđenih sporazuma sa svojim priložima, direktiva, zakona do brojnih podzakonskih akata.

Pregledom zakonskih i podzakonskih akata, može se ustanoviti dominacija predložene diferencijacije logističkih sistema na podsisteme: proizvodnja, skladištenje, pretovar, transport i upotreba. Logistički sistemi za opasne materije imaju različite nivoe istraživanja i na strateškom nivou ne sme se izostaviti ni jedan deo, inače se rizik za potencijalni neželjeni događaj značajno povećava. Zbog toga je u ovom istraživanju usvojena navedena diferencijacija za jednu od najznačajnijih opasnih materija - amonijak, počev od osnovne hipoteze pa do zaključka.

### **3.2. PROPISI U LOGISTIČKIM SISTEMIMA ZA OPASNE MATERIJE**

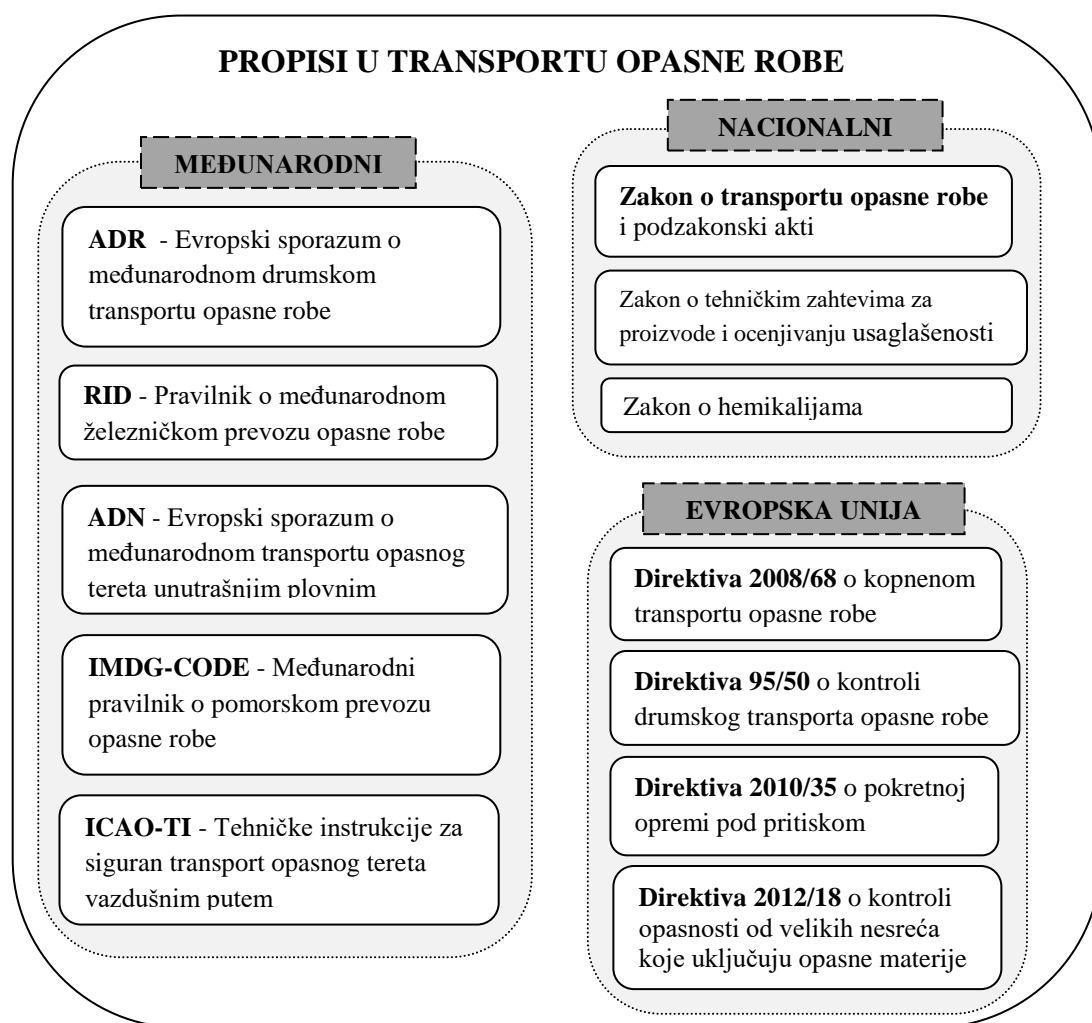
Što je život u društvu organizovaniji, forme i sadržaji rada kompleksniji i raznovrsniji, diferencijacija i protivrečnosti veće, to je i potreba za većim brojem pravnih normi izraženija. Da bi se uskladili i regulisali brojni, raznovrsni i složeni odnosi, potreban je veći broj pravnih normi. Praktično, broj i sadržaj pravnih normi prati razvoj pojedinih oblasti u kojim su primenjene. Takav slučaj je i u oblasti opasnih materija.

Propisi za transport opasne robe i povezane logističke aktivnosti su regulisani pojedinačno za svaki vid prevoza. To je jedna harmonizovana i pravno uređena logistička oblast na međunarodnom nivou. Posebno su usvojeni propisi za drumski, železnički, vazdušni, rečni i pomorski transport i u velikoj meri su međusobno usaglašeni.

Pored prevoza, propisima su regulisane i radnje koje su u vezi sa prevozom, kao što su: pripremanje opasne materije za prevoz, utovar, pretovar, istovar, usputne manipulacije, postupci voznog osoblja (vozač, suvozač, pratilac) i sl. Praktično propisi regulišu prevoz ovih materija u celom transportnom lancu koji je širi od prevoza u užem smislu i obuhvataju druge logističke podsisteme. S obzirom na međusobnu povezanost i uslovljenost svih logističkih procesa, brzo je ustanovljeno da se zahtevi i uslovi u transportnom podsystemu moraju proširiti i na pretovarne i skladišne podsisteme od otpreme robe do njenog prijema. Uslovi prijemnog skladištenja su koncepte smanjenja rizika preneli u proizvodnju, a uslovi otpremnih skladišta u distribuciju, odnosno upotrebu. Time su obuhvaćene sve faze logističkog lanca od

proizvodnje, preko skladištenja i pretovara do transporta i upotrebe. Potreba za međunarodnom razmenom opasne robe je inicijalno, preko transporta, razvila logističke sisteme za opasne materije. Mogućnosti bezbednog skladištenja opasnih materija su daleko veće nego mogućnosti bezbednog prevoza. Između ostalog, skladište se može locirati na najpovoljnijem mestu (udaljenom od naselja i dr.), dok se prevoz vrši i kroz gusto naseljene urbane sredine ili pored značajnih objekata i instalacija gde bi potencijalni akcidenti sa opasnom materijom prouzrokovali veoma teške posledice. Zbog toga je prevoz ovih materija predmet brižljivog regulisanja međunarodnih i unutrašnjih pravnih akata.

Uvažavajući heterogenu strukturu pravnih akata u oblasti opasnih materija, u nastavku su prikazani pravni akti od značaja za opasne materije po logističkim podsistemima na međunarodnom i nacionalnom nivou (slika 4).



Slika 4. Propisi koji regulišu transport opasne robe

### 3.2.1. MEĐUNARODNI PROPISI

U cilju stvaranja uslova za bezbedno odvijanje transportnih procesa sa opasnom robom utvrđena su pravila koja te procese uređuju. Sa tim ciljem, UN su 1954. godine formirale ekspertske tim koji je dao preporuke kako stvoriti jedinstvene kriterijume koji se odnose na obeležavanje, klasifikaciju, vozila, uređaje na vozilima, dozvole i dr. Na osnovu ovih preporuka, 1957. godine UN je napravio sporazume koji su postali obavezujući za sve potpisnike sporazuma.

Transport opasne robe na teritoriji država potpisnika sporazuma, između ostalog i u Republici Srbiji, obavlja se u skladu sa odredbama sledećih potvrđenih međunarodnih sporazuma:

- **ADR** - Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe od 30. septembra 1957. godine („Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori”, br. 59/72 i 8/77, „Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori”, br. 2/10 i 14/13), sa naknadnim izmenama i dopunama;
- **RID** - Konvencija o međunarodnim prevozima železnicama (COTIF) od 9. maja 1980. godine, Dodatak C – Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe („Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori”, broj 8/84, „Službeni list SRJ – Međunarodni ugovori”, broj 3/93, „Službeni glasnik RS”, broj 102/07 i „Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori”, br. 1/10, 2/13 i 17/15), sa naknadnim izmenama i dopunama;
- **ADN** - Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnog tereta na unutrašnjim plovnim putevima od 26. maja 2000. godine („Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori”, br. 3/10, 1/14 i 7/15), sa naknadnim izmenama i dopunama.

#### 3.2.1.1. EVROPSKI SPORAZUM O MEĐUNARODNOM DRUMSKOM PREVOZU OPASNE ROBE - ADR

S obzirom na rizike koji potiču od osobina hemikalija treba obezbediti, među ostalim fazama životnog veka opasne materije ili predmeta, na jedinstven način uređene transportne uslove u cilju kontinualnog međunarodnog saobraćaja. Zbog toga se 1957. godine pojavila tzv. Narandžasta knjiga, odnosno Model propisa UN (*UN Model Regulations - Orange Book*). Iste

godine Ekonomska komisija Ujedinjenih nacija za Evropu (UNECE) u Ženevi pripremila je ADR - Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe (*European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*).

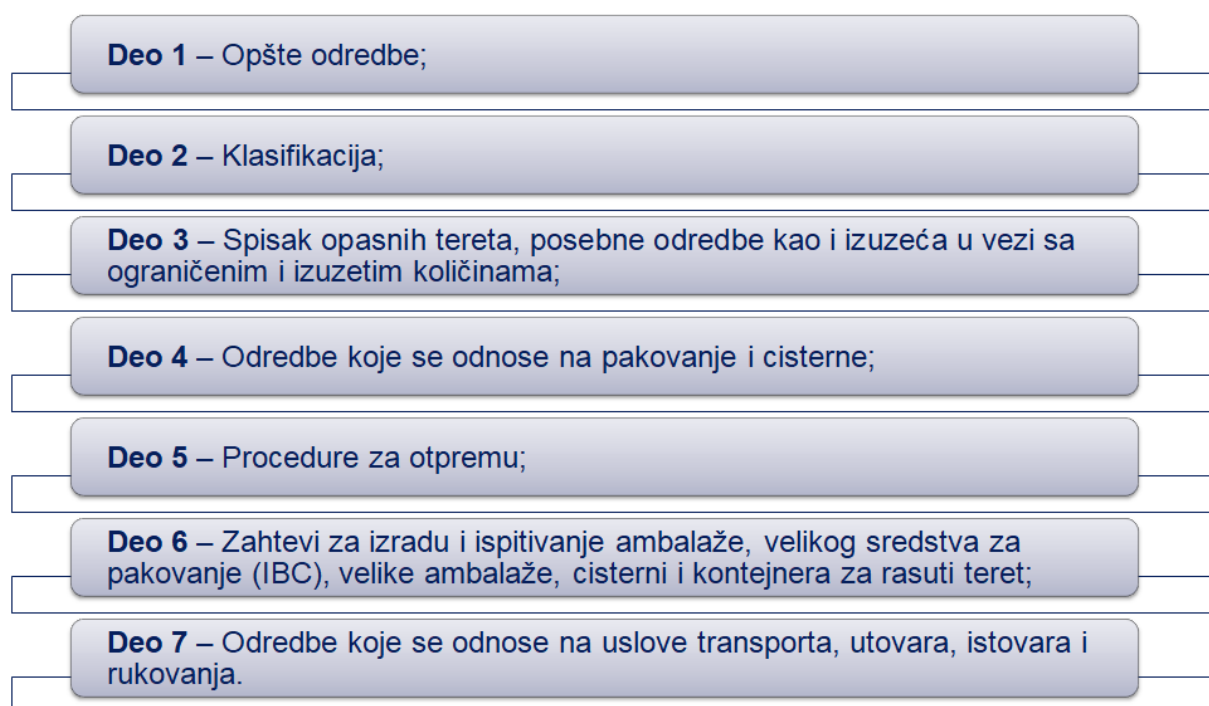
Narandžasta knjiga, odnosno ADR je 1957. godine sadržao spisak opasnih materija od oko 1500 UN brojeva razvrstanih u devet klasa. Poslednja verzija ADR-a iz 2019. godine obuhvata oko 3500 razvrstanih u 13 klasa. Normativna praksa morala je biti ustrojena tako da može odgovoriti na ekspanziju proizvodnje novih opasnih materija ili predmeta i obezbediti uslove za njihov bezbedan transport. Kao nosilac normativnih aktivnosti formirana je radna grupa WP 15 EEK UN u Ženevi, koja svake druge godine priprema inovirano izdanje ADR sa najnovijim izmenama i dopunama. Evropski sporazumi nadležni su za međunarodni transport opasne robe i ostavljaju svakoj državi da na svojoj teritoriji nacionalnim propisima uredi posebne uslove.

Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe je 1972. godine ratifikovala tadašnja SFRJ. Svi potpisnici ovog sporazuma dužni su da prilagode nacionalne propise tako da oni ne budu u suprotnosti sa ADR-om. Iako su pravila propisana ADR-om ista za sve, moguća su izuzeća ili posebna pravila koja će važiti na teritoriji pojedinih zemalja. Osnovna karakteristika ovog sporazuma je klasifikacija hemikalija u klase opasnosti sa jedinstvenim spiskom UN brojeva opasnih materija i predmeta sa podacima neophodnim za transport [22].

Evropskim sporazumom o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe propisani su tehnički uslovi koje je neophodno ispuniti kako bi se nesmetano obavio transport opasne robe. ADR pod pojmom "opasne robe" podrazumeva materije i predmete čiji je međunarodni drumski prevoz zabranjen ili se odobrava pod posebnim uslovima u Aneksima A i B. Zemlje potpisnice zadržavaju pravo, da se posebnim bilateralnim ili multilateralim sporazumima dogovore da neke opasne robe čiji međunarodni prevoz zabranjuje ovaj Sporazum, prevoze u međunarodnom saobraćaju na svojim teritorijama, pod određenim uslovima ili da opasne robe čiji međunarodni prevoz odobrava ovaj Sporazum prevoze pod blažim uslovima nego što su uslovi u aneksima ovog Sporazuma.

ADR se sastoji iz devet delova koji su podeljeni na Prilog A i Prilog B. Prilog A čine delovi od 1. do 7., a prilog B čine 8. i 9. deo. Prilog A definiše opšte odredbe i odredbe o opasnim predmetima i supstancama. Zahtevi svakog dela Priloga A su predstavljeni na slici 5.

U Prilogu A, pored definicija, propisano je: koje su opasne materije isključene iz međunarodnog prevoza; koje se materije mogu prevoziti pod određenim uslovima; dat je spisak opasnih materija i posebni propisi za razne klase (opšti uslovi pakovanja, natpisi i listice opasnosti na pakovanjima, podaci o tovarnom listu, prazna ambalaža i ostali propisi); uslovi slanja robe neupakovane, u kontejnerima i u cisternama; način slanja i ograničenja u odašiljanju; zabrane u pogledu zajedničkog utovarivanja i ostale odgovarajuće propise koji se primenjuju specifično na drumski prevoz.



Slika 5. Prilog A - Opšte odredbe i odredbe o opasnim predmetima i supstancama

Prilog B definiše odredbe o transportnoj opremi i transportnim operacijama i sastoji se iz dva dela:

- **deo 8** - zahtevi za posadu vozila, opremu, operacije i dokumentaciju i
- **deo 9** - zahtevi za konstrukciju i odobrenje vozila.

U Prilogu B, pored definicija, propisani su: opšti propisi za prevoz opasnih materija svih klasa (uslovi koje moraju ispunjavati vozila i njihova oprema, rad posade vozila, posebni propisi o utovaru, istovaru i manipulaciji, posebni propisi o manipulaciji vozilom i dr.) i posebni propisi koji određuju posebne uslove koje vozilo i oprema mora ispunjavati za prevoz pojedinih vrsta (klasa) opasnih materija.

### 3.2.1.2. PRAVILNIK O MEĐUNARODNOM ŽELEZNIČKOM PREVOZU OPASNE ROBE - RID

Transport opasne robe u međunarodnom železničkom saobraćaju u potpunosti je pravno regulisan Pravilnikom o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe - RID (*The Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail*), kao prilog „C“ Konvencije o međunarodnim prevozima železnicom (COTIF) [14]. Pravilnik RID je u nadležnosti organizacije OTIF (Međuvladina organizacija za međunarodne prevoze železnicom), koja je zadužena za sve njegove izmene i dopune. Problematika transporta opasnog otpada, pored toga što je obuhvaćena u potpunosti pravilnikom RID, regulisana je i tzv. „Bazelskom konvencijom“ o kontroli prekograničnog kretanja opasnih otpada i njihovom odlaganju [22].

Pravilnik RID u potpunosti reguliše transport opasne robe isključene iz međunarodnog prevoza i opasne robe čiji je međunarodni prevoz dozvoljen. RID je podeljen na sedam delova, svaki deo je podeljen na poglavlja, a svako poglavlje na odeljke i pododeljke. Detalji o sprovođenju pojedinih odredbi pravilnika RID, dati su kroz Objave (Fiše) Evropske železničke unije (UIC), u vidu preporuka ili kao izvršnih (obavezujućih) odredbi.

U smislu dodatka C, COTIF-a član 1, RID [12] utvrđuje:

- Opasnu robu koja je isključena iz međunarodnog transporta;
- Opasnu robu koja je dozvoljena u međunarodnom transportu i uslove koji se na nju odnose (uključujući izuzeća), a posebno:
  - klasifikaciju robe, uključujući kriterijume klasifikacije i odgovarajuće metode ispitivanja,
  - upotrebu ambalaže (uključujući zajedničko pakovanje),
  - upotrebu cisterni (uključujući njihovo punjenje),
  - postupak pri otpremi (uključujući obeležavanje i označavanje komada i transportnih sredstava, kao i dokumentaciju i propisana obaveštenja),
  - odredbe koje se odnose na konstrukciju, ispitivanje i odobrenje za ambalažu i cisterne,
  - upotrebu transportnih sredstava (uključujući utovar, zajedničko tovarenje i istovar).

### **3.2.1.3. EVROPSKI SPORAZUM O MEĐUNARODNOM TRANSPORTU OPASNOG TERETA UNUTRAŠNJIM PLOVNIM PUTEVIMA - ADN**

Države potpisnice ovim sporazumom su uspostavile jedinstvene principe i pravila u cilju: višeg nivoa bezbednosti međunarodnog transporta opasnih tereta unutrašnjim plovnim putevima; efikasnog doprinosa zaštiti životne sredine, sprečavanjem svih zagađenja koja nastaju usled udesa ili nezgoda u toku takvog transporta i olakšavanja transportnih operacija i unapređenja međunarodne trgovine [9].

Tehnički propisi u prilogu AND (*The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways*) sadrže odredbe o opasnim materijama i predmetima, odredbe o njihovom transportu u komadima za otpremu ili u rasutom stanju na brodovima u vodnom saobraćaju ili brodovima tankerima, kao i odredbe o konstrukciji i operacijama takvih brodova. One takođe obuhvataju odredbe i postupke za kontrole, ispostavljanje sertifikata o odobrenju, priznavanje klasifikacionih društava, nadzor, kao i obučavanje i ispite za stručna lica.

### **3.2.2. PROPISI EVROPSKE UNIJE**

Pored međunarodnih sporazuma u okviru Ujedinjenih nacija i nacionalnih propisa, u domenu ovog istraživanja treba istaći propise Evropske unije (EU). Zakonodavstvo EU je integralni sistem koji je nadređen nacionalnim zakonodavstvima zemalja članica. Direktive se moraju ugraditi u zakone i pravilnike država članica u propisanom roku, obavezujuće su u pogledu ciljeva i rezultata, ali je izbor načina i forme primene pravo svake države [20].

Regulativa u EU je po svom obimu vrlo složena i potrebno je svakodnevno pratiti i ažurirati podatke u vezi sa izmenama, a to sve u cilju savesnog i profesionalnog obavljanja prevoza opasnog tereta.



### **3.2.2.1. DIREKTIVA 2008/68 O KOPNENOM TRANSPORTU OPASNE ROBE**

Direktiva 2008/68 se primjenjuje na prevoz opasne robe drumom, željeznicom ili unutrašnjim plovnim putevima unutar ili između država članica EU, uključujući utovar i istovar, prelaz na druge vrsta prevoza ili s drugih vrsta prevoza te neophodnih zaustavljanja. Cilj ove Direktive je osiguravanje jedinstvene primene usklađenih bezbednosnih pravila u celoj EU i visoki nivo bezbednosti u nacionalnom i međunarodnom prevozu opasne robe.

Članom 5 Direktive 2008/68 je predviđeno da se ADR-om, RID-om i ADN-om utvrđuju jedinstvena bezbednosna pravila za međunarodni prevoz opasne robe. Ta pravila takođe treba proširiti na nacionalni prevoz kako bi se u celoj Zajednici uskladili uslovi pod kojima se prevozi opasne roba, te kako bi se osiguralo pravilno funkcionisanje zajedničkog tržišta prevoza [1].

Usklađivanje uslova koji se primenjuju na nacionalni prevoz opasne robe ne bi trebalo biti prepreka za uzimanje u obzir posebnih nacionalnih okolnosti. Ovom Direktivom se državama članicama omogućuje odobravanje određenih odstupanja u određenim utvrđenim uslovima kao nacionalna odstupanja. Neophodno je brzo prilagođavanje ove Direktive naučnom i tehničkom razvoju, uključujući razvoj novih tehnologija za praćenje i lociranje, posebno kako bi se uzele u obzir nove odredbe ugrađene u ADR, RID i ADN. Izmene međunarodno potvrđenih sporazuma, te odgovarajuće prilagođavanje Direktive moraju stupiti na snagu istovremeno [1].

### **3.2.2.2. DIREKTIVA 95/50 O KONTROLI DRUMSKOG TRANSPORTA OPASNE ROBE**

Direktiva 95/50 definiše jedinstvene procedure za kontrolu drumskog prevoza opasne robe i uspostavlja godišnju obavezu izveštavanja o državama članicama. Prema ovoj Direktivi postupci kontrole prevoza opasnih materija primenju se na kontrolu koji države članice sprovode u vezi s prevozom opasne robe u drumskom prevozu vozilima koja prevoz obavljaju na njihovim teritorijama ili koja na njihovo područje ulaze iz treće zemlje. Direktiva se ne primenjuje na prevoz opasne robe vozilima koja pripadaju ili su u nadležnosti oružanih snaga.

U svrhu sprovođenja kontrole predviđenog ovom Direktivom, države članice koriste unificiran zapisnik o kontroli prevoza opasnih materija [2].

Primerak tog zapisnika ili potvrde iz koje je vidljiv rezultat kontrole, koju je sastavilo nadležno telo koje je provelo kontrolu, uručuje se vozaču vozila. Kontrola se sprovodi nasumice nad što je moguće većim delom drumske mreže i u razumnom vremenskom roku.

Ne dovodeći u pitanje druge kazne koje se mogu izreći, nadležna tela koja sprovode kontrolu mogu vozila za koja se utvrdi da su počinila jednu ili više povreda propisa o prevozu opasne robe, isključiti iz saobraćaja na mestu zaustavljanja ili na za to namenjenom mestu i zatražiti da se pre nego što nastave vožnju usklade s odredbama ili se, zavisno od okolnosti ili bezbednosnih zahteva, mogu sprovesti druge odgovarajuće mere uključujući, prema potrebi, zabranu ulaska vozila u EU.

### **3.2.2.3. DIREKTIVA 2010/35 O POKRETNJOJ OPREMI POD PRITISKOM**

U ovoj Direktivi se utvrđuju detaljna pravila o pokretnoj opremi pod pritiskom kako bi se povećala bezbednost i osiguralo slobodno kretanje takve opreme unutar EU. Pokretna oprema pod pritiskom obuhvata [7]:

- sve posude pod pritiskom, njihovi ventili i prema potrebi, drugi pribor, kako je obuhvaćeno u poglavlju 6.2. Priloga Direktivi 2008/68 [6];
- cisterne, baterijska vozila/kola, rezervoari za gas koji se sastoje od više elemenata (MEGC), njihovi ventili i prema potrebi, drugi pribor, kako je obuhvaćeno u poglavlju 6.8 Priloga Direktivi 2008/68;

Uvoznici i distributeri mogu na tržište EU staviti samo onu pokretnu opremu pod pritiskom koja je u skladu sa priložima Direktive 2008/68 i ovom Direktivom. Pre nego što učine pokretnu opremu pod pritiskom dostupnom za tržište, distributeri su dužni proveriti da li pokretnu opremu pod pritiskom nosi oznaku Pi i da li je priložena potvrda o saobraznosti.

#### **3.2.2.4. DIREKTIVA 2012/18 O KONTROLI OPASNOSTI OD VELIKIH UDESA KOJE UKLJUČUJU OPASNE MATERIJE**

Na nivou EU, oblast hemijskih udesa je definisana odredbama Seveso III Direktive 2012/18 i predstavlja relevantan pravni okvir za sprečavanje i kontrolu udesa nastalih delovanjem opasnih materija u procesu industrijske proizvodnje. U poređenju sa Seveso I i II, Seveso III omogućava bolji pristup građana (lokalne zajednice) informacijama o rizicima koji nastaju od aktivnosti kompanija koje koriste ili transportuju opasne materije, o ponašanju u slučaju udesa i o efikasnijim pravilima u vezi učešća javnosti [1].

SEVESO Direktive obavezuje države članice EU da obezbede da operateri imaju ustanovljenu politiku za sprečavanje velikih udesa. Operateri moraju redovno da upoznaju javnost o potencijalnim rizicima, tako što pišu izveštaj o bezbednosti, izrađuju sistem za upravljanje bezbednošću i plan reagovanja u slučaju vanrednog događaja. Države članice EU su u obavezi da obezbede planove za reagovanje u slučaju vanrednog događaja i da su planirane mere za ublažavanje posledica istih ukoliko se eventualno dogode [10].

#### **3.2.3. NACIONALNI PROPISI**

Za funkcionisanje transportnog sistema i šire društvene zajednice veoma je važno izučavanje opasnih materijala, pri čemu ova oblast zahteva definisanje različitih pravnih normi u pogledu, organizacije, odgovornosti, postupanja i drugih zahteva kako bi ova delatnost funkcionisala na propisan način. Zato je broj i struktura pravnih akata koji regulišu oblast opasnih materija veoma heterogena. Među najznačajnijim pravnim aktima u Republici Srbiji izdvajaju se:

- Zakon o transportu opasne robe ("Službeni glasnik RS", br. 104/2016, br. 83/2018.);
- Zakon o hemikalijama ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010, 92/2011, 93/2012 i 25/2015);
- Zakon o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009);

- Uredba o pokretnoj opremi pod pritiskom ("Službeni glasnik RS", br. 120/2017.);
- Uredba o kriterijumima za klasifikaciju povreda propisa prema kategoriji opasnosti od nastupanja posledica u transportu opasne robe ("Službeni glasnik RS", br. 82/2017.);
- Pravilnik o uslovima u pogledu stručne osposobljenosti ovlašćenog stručnog lica koje ispituje cisternu, baterijsko vozilo i MEGC, načinu vođenja registra ovlašćenih stručnih lica i izgledu žiga ("Službeni glasnik RS", br. 64/2019.);
- Pravilnik o načinu i uslovima za utvrđivanje trasa za prevoz opasne robe u drumskom saobraćaju i načinu lociranja i praćenja vozila ("Službeni glasnik RS", br. 59/2019.);
- Pravilnik o bližim uslovima koje mora da ispunjava imenovano telo za ocenjivanje usaglašenosti vozila, kao i uslovi, postupak i način vođenja registra izdatih, oduzetih, odnosno vraćenih ADR sertifikata o odobrenju za vozilo ("Službeni glasnik RS", br. 39/2018.);
- Pravilnik o načinu i postupku izdavanja ADR sertifikata o odobrenju za vozilo ("Službeni glasnik RS", br. 23/2018.);
- Pravilnik o bližim uslovima koje mora da ispunjava imenovano telo za ocenjivanje usaglašenosti vozila, kao i uslovi, postupak i način vođenja registra izdatih, oduzetih, odnosno vraćenih ADR sertifikata o odobrenju za vozilo ("Službeni glasnik RS", broj 39/2018.);
- Pravilnik o načinu transporta opasnog tereta u drumskom saobraćaju ("Službeni glasnik RS", br. 125/2014.);
- Pravilnik o načinu transporta i obaveznom operativnom praćenju opasnog tereta u železničkom saobraćaju, kao i obavezama učesnika u transportu opasnog tereta u železničkom saobraćaju i u vanrednim događajima ("Službeni glasnik RS", br. 81/2015.);
- Pravilnik o uslovima za izdavanje posebnog odobrenja za transport određenog opasnog tereta ("Službeni glasnik RS", broj 12/16);
- Pravilnik o sadržini sertifikata o odobrenju za vozilo i uslovima pod kojima se izdaje, odnosno vraća sertifikat o odobrenju za vozilo ("Službeni glasnik RS", br. 36/2013.);
- Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu sa Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje ("Službeni glasnik RS" br. 105/2013.);

- Pravilnik o načinu skladištenja, pakovanja i obeležavanja opasnog otpada ("Službeni glasnik RS 92/2010.);
- Pravilnik o uslovima i načinu sakupljanja, transporta, skladištenja i tretmana otpada koji se koristi kao sekundarna sirovina ili za dobijanje energije ("Službeni glasnik RS", 98/2010.);
- Pravilnik o sadržaju bezbednosnog lista ("Službeni glasnik RS", br. 81/2010.);
- i drugi podzakonski akti.

Oblast transporta opasne robe je jedna od normativno najuređenijih oblasti. Najveći deo navedenih propisa je u nadležnosti Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture Republike Srbije, odnosno Odseka za transport opasne robe. Regulatorna se jednim delom odnosi i na logističke procese povezane sa transportom, pre svega skladištenje, pretovar i sl. Važnost primene važećih propisa ogleda se u tome što samo jedna greška na bilo kojoj "lokaciji" u logističkom sistemu opasnih materija može da prouzrokuje posledice velikih razmera. Iz tog razloga su navedeni i podzakonski akti, kao deo propisa kojima se bliže uređuje ova oblast.

### **3.2.3.1. ZAKON O TRANSPORTU OPASNE ROBE**

Transport opasne robe u Republici Srbiji uređen je Zakonom o transportu opasne robe i podzakonskim propisima za sprovođenje zakona. Republike Srbija je potvrdila Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe (ADR), odnosno o međunarodnom transportu opasnog tereta na unutrašnjim plovnim putevima (ADN) i Konvenciju COTIF čiji je prilog Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe (RID). Izgrađena je infrastruktura ovlašćenih centara za obuke savetnika za bezbednost, vozača vozila za transport opasne robe, zatim Imenovanih tela za ocenjivanje usaglašenosti ambalaže, pokretne opreme pod pritiskom ili cisterne koji će ciljnoj grupi koja njih primenjuje obezbediti da ispune uslove kada je reč o propisima koji se odnose npr. na ambalažu, vozila, zaposlene, cisterne i sl. [22]

Ovim zakonom se uređuju uslovi za obavljanje unutrašnjeg i međunarodnog transporta opasne robe u drumskom, železničkom i unutrašnjem vodnom saobraćaju na teritoriji Republike Srbije, kao i zahtevi u odnosu na ambalažu, pokretnu opremu pod pritiskom, odnosno cisternu, odnosno prevozno sredstvo namenjeno za transport opasne robe [26].

Specifičnost ovog pravnog akta je u činjenici da transport opasne robe na teritoriji Republike Srbije, u pojedinim segmentima, upućuje na odredbe sledećih potvrđenih međunarodnih ugovora:

- Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe (ADR) od 30. septembra 1957. godine („Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori”, br. 59/72 i 8/77, „Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori”, br. 2/10 i 14/13), sa naknadnim izmenama i dopunama;
- Konvencija o međunarodnim prevozima železnicama (COTIF) od 9. maja 1980. godine, Dodatak C – Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe (RID) („Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori”, broj 8/84, „Službeni list SRJ – Međunarodni ugovori”, broj 3/93, „Službeni glasnik RS”, broj 102/07 i „Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori”, br. 1/10, 2/13 i 17/15), sa naknadnim izmenama i dopunama;
- Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnog tereta na unutrašnjim plovnim putevima (ADN) od 26. maja 2000. godine („Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori”, br. 3/10, 1/14 i 7/15), sa naknadnim izmenama i dopunama.

U pojedinim pravnim normama Zakon se poziva na navedene međunarodne Ugovore. Zakon definiše i uslove za korišćenje ambalaže, pokretne opreme pod pritiskom, odnosno cisterne. Na teritoriji Republike Srbije, za transport opasne robe, može da se koristi samo ambalaža, pokretna oprema pod pritiskom, odnosno cisterna:

- koja je odgovarajuća po tehničkim karakteristikama za datu količinu i date osobine opasne robe koja se u ambalažu, pokretnu opremu pod pritiskom, odnosno cisternu ili tank broda smešta, odnosno koja ispunjava i druge zahteve bezbednosti prema propisima ADR/RID/ADN,
- za koju je sprovedeno ocenjivanje usaglašenosti u skladu sa zahtevima ADR/RID i za koju se učini dostupnom isprava o usaglašenosti kojima se potvrđuje da se u njoj prevozi odgovarajuća opasna roba,

- koja je obeležena i označena u skladu sa ADR/RID/ADN, ovim zakonom i propisima donetim na osnovu ovog zakona i
- za koju postoji važeća isprava o periodičnom kontrolisanju u skladu sa ADR/RID/ADN.

Deo Zakona posvećen je obavezama svih subjekata transportnog procesa. Glavni učesnici u transportu opasne robe su pošiljalac, prevoznik i primalac.

Pošiljalac je privredno društvo, drugo pravno lice ili preduzetnik, koje u svoje ime i za svoj račun, ili za neko treće lice otprema opasnu robu. Ako se transport obavlja na osnovu ugovora o prevozu, pošiljaocem se smatra pošiljalac po ovom ugovoru. Prevoznik je privredno društvo, drugo pravno lice ili preduzetnik, koje obavlja prevoz sa ili bez ugovora o prevozu.

Primalac je privredno društvo, drugo pravno lice ili preduzetnik u skladu sa ugovorom o prevozu. Ako primalac odredi neko treće lice u skladu sa odredbama ugovora o prevozu, tada se to treće lice smatra primaocem u smislu ADR/RID/ADN. Ako se transport vrši bez ugovora o prevozu, tada je primalac privredno društvo, drugo pravno lice ili preduzetnik koji preuzima opasnu robu nakon njenog prispeća.

### **3.2.3.2. UREDBA O POKRETNJOJ OPREMI POD PRITISKOM**

Kako se u disertaciji obrađuje amonijak koji pripada 2. klasi opasnih materija (gasovi), ukratko je predstavljena Uredba o pokretnoj opremi pod pritiskom. Ovom uredbom, između ostalog, bliže se utvrđuje način postupanja operatera u odnosu na pokretnu opremu pod pritiskom.

Uredba predviđa da operater može da upotrebljava samo onu pokretnu opremu pod pritiskom koja je u skladu sa ADR/RID/ADN i ovom uredbom i ima važeći izveštaj o periodičnom kontrolisanju ili međukontrolisanju, odnosno važeći trajno utisnuti žig periodičnog kontrolisanja ili međukontrolisanja sa trajno utisnutim znakom usaglašenosti [24].

Operater koji vrši punjenje gasova može puniti pokretnu opremu pod pritiskom u sopstvenom vlasništvu, pokretnu opremu pod pritiskom za koju je evidentirano da ne postoji vlasnik, kao i pokretnu opremu pod pritiskom koja je u vlasništvu distributera, drugih operatera koji vrše

punjenje ili je upotrebljavaju, a na osnovu pisanog sporazuma sa vlasnikom pokretne opreme pod pritiskom ili naloga za punjenje dobijenog od vlasnika pokretne opreme pod pritiskom.

Operater koji puni pokretnu opremu pod pritiskom dužan je da Ministarstvu kvartalno dostavlja izveštaj o punjenju pokretne opreme pod pritiskom, koji mora da sadrži najmanje broj boce, podatke o vlasniku ili distributeru i datum punjenja.

### **3.2.3.3. PRAVILNIK O NAČINU TRANSPORTA OPASNOG TERETA U DRUMSKOM SAOBRAĆAJU**

Pravilnik propisuje način transporta opasnog tereta u drumskom saobraćaju. Značajan deo definisanih aktivnosti Pravilnika upućuje na primenu pravnih normi iz Zakona o transportu opasne robe, kao i primenu odgovarajućih standarda. Tako, predviđeno je da transport opasnog tereta u drumskom saobraćaju započinje preduzimanjem mera i radnji za obezbeđenja tereta predviđenih standardima SRPS EN 12195-1:2012 i EN ISO 12100-2 i propisima kojima se uređuje obezbeđenje tereta na vozilu. Pored toga, opasan teret u drumskom saobraćaju transportuje se u odgovarajućoj ambalaži i obezbeđuje se u skladu sa standardom SRPS EN 12195-1:2012. [14]

Pravilnik ne konkretizuje način postupanja u pratećim aktivnostima transporta, već upućuje da se određene radnje (npr. utovar, pretovar i istovar) vrše na mestima koja za to ispunjavaju posebne uslove u skladu sa Zakonom i podzakonskim aktima donetim na osnovu Zakona.

Pravilnikom su definisana postupanja u skladu sa određenim uslovima u kojima se transport spovodi:

- Transport opasnog tereta u uslovima otežanog odvijanja saobraćaja usled smanjene vidljivosti ispod 100 m, zasićenog saobraćajnog toka na deonicama dužim od 5 km, smanjene brzine saobraćajnog toka na manje od 30 km/h, pojave dužeg prekida saobraćaja usled saobraćajnih nezgoda ili blokade puteva, obavlja se uz primenu mera smanjenja brzine kretanja i vidnog označavanja vozila rotacionim svetlom na način propisan zakonom kojim se uređuje bezbednost saobraćaja na putevima.
- U uslovima otežanog odvijanja saobraćaja usled klizavog kolovoza, snežnog pokrivača, odrona, klizišta i poplava, vozilo se zaustavlja i parkira na prvom



podesnom bezbednom mestu i označava u cilju upozorenja drugih učesnika na opasnost, na način propisan zakonom koji uređuje bezbednost saobraćaja na putevima.

- U uslovima otežanog odvijanja saobraćaja usled visokih atmosferskih temperatura preko 35 °C u hladu, transport opasnog tereta se ne započinje, odnosno blagovremeno se okončava pre nego što spoljna temperatura dostigne navedenu vrednost.
- U uslovima nepredviđenog zaustavljanja vozila, mesto zaustavljanja vozila obezbeđuje se postavljanjem znaka upozorenja na minimalnom rastojanju od 150 m u pravcu kretanja, odnosno na rastojanju od 150 m od početka ili kraja krivine, na način kojim se vidno upozoravaju ostali učesnici u saobraćaju, ne ugrožavajući pri tom odvijanje saobraćaja, na način propisan zakonom koji uređuje bezbednost saobraćaja na putevima.

Pravilnikom je ograničena brzina kretanja vozila u toku transporta opasne robe:

- do 90 km/h na državnim putevima I reda i
- do 70 km/h na državnim putevima II reda i opštinskim putevima i ulicama.

Takođe, Pravilnik predviđa i prateću dokumentaciju u vozilu kojim se obavlja transport opasnog tereta:

- ugovor o prevozu (tovarni list, odnosno CMR),
- pisano uputstvo o posebnim merama bezbednosti u transportu opasnog tereta,
- odobrenje za transport opasnog tereta izdato u skladu sa Zakonom i
- popunjena Kontrolna lista vozača.

## LITERATURA

- [1] Cvetanović, S., Integralni model sistemskog pristupa upravljanja rizikom od hemijskih udesa na lokalnom nivou, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2015.
- [2] Directive 95/50/EC of 1995 on uniform procedures for checks on the transport of dangerous goods by road, Official Journal of the European Communities No L 249/35.
- [3] Directive 96/82/EC of 1996, on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, Official Journal L 010.
- [4] Directive 98/91/EC of the European Parliament and of the Council of 14 December 1998 relating to motor vehicles and their trailers intended for the transport of dangerous goods by road and amending Directive 70/156/EEC relating to the type approval of motor vehicles and their trailers, Official Journal of the European Communities L 11/25.
- [5] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, Official Journal of the European Union L 167/30.
- [6] Directive 2008/68/EC of the European Parliament and of the Council of 2008 on the inland transport of dangerous goods, Official Journal of the European Union L 260/13.
- [7] Directive 2010/35/EU OF of the European Parliament and of the Council of 2010 on transportable pressure equipment and repealing Council Directives 76/767/EEC, 84/525/EEC, 84/526/EEC, 84/527/EEC and 1999/36/EC, Official Journal of the European Union L 165/1.
- [8] Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe od 30. septembra 1957. godine - ADR, Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori br. 59/72 i 8/77, Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori br. 2/10 i 14/13, sa naknadnim izmenama i dopunama.
- [9] Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnog tereta na unutrašnjim plovnim putevima od 26. maja 2000. godine - ADN, Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori br. 3/10, 1/14 i 7/15, sa naknadnim izmenama i dopunama.
- [10] <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>
- [11] [http://www.eurogreen.co.rs/essential\\_grid/seveso-postrojenja/](http://www.eurogreen.co.rs/essential_grid/seveso-postrojenja/)
- [12] Konvencija o međunarodnim prevozima železnicama (COTIF) od 9. maja 1980. godine - RID, Dodatak C – Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe, Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori broj 8/84, Službeni list SRJ – Međunarodni ugovori broj 3/93, Službeni glasnik RS broj 102/07 i Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori br. 1/10, 2/13 i 17/15, sa naknadnim izmenama i dopunama.
- [13] Milovanovic B, Doktorska disertacija, Prilog razvoju metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja transportuju opasnu robu sa aspekta upravljanja rizikom, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2012.
- [14] Ožegović B., Sremac S., Tadić Ž., Stević Ž., Značaj i uloga savetnika za bezbednost u transportu opasnog tereta železnicom, *Ecologica*, Vol. 23, br. 83, Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije, ISSN 0354-3285, str. 647-651, 2016.

- [15] Pravilnik o načinu transporta opasnog tereta u drumskom saobraćaju, Sl. glasnik RS, br. 125/2014.
- [16] Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu sa Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje, Sl. glasnik RS, br 105/13 i 52/17.
- [17] Pravilnik o načinu transporta i obaveznom operativnom praćenju opasnog tereta u železničkom saobraćaju, kao i obavezama učesnika u transportu opasnog tereta u železničkom saobraćaju i u vanrednim događajima, Sl. glasnik RS, br. 81/2015.
- [18] Pravilnik o tehničkim normativima za bezbednost od požara i eksplozija postrojenja i objekata za zapaljive i gorive tečnosti i o uskladištavanju i pretakanju zapaljivih i gorivih tečnosti, Sl. glasnik RS, br. 114/2017.
- [19] Pravilnik o uslovima za izdavanje posebnog odobrenja za transport određenog opasnog tereta, Sl. glasniku RS, broj 12/16.
- [20] Ristić, S., Unapređenje modela angažovanja interventnih timova u hemijskim akcidentima izazvanim transportom opasnih materija, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet bezbednosti, 2015.
- [21] Sremac, S., Stević, Ž., Pamučar, D., Arsić, M., Matić, B., Evaluation of a Third-Party Logistics (3PL) Provider Using a Rough SWARA–WASPAS Model Based on a New Rough Dombi Agregator, *Symmetry*, 10, 305, 2018.
- [22] Tadić, Ž., Definisane mere za edukaciju učesnika u transportu opasnog tereta železnicom, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, diplomski rad, 2016.
- [23] Tomić, D., Sremac, S., Transportation of dangerous goods across cities – amendments in favor of traffic streams identification and facilities protection, 14th International Conference “Road Safety in Local Community”, Kopaonik, Serbia, Vol. 2, pp. 261 – 270, 2019.
- [24] Uredba o pokretnoj opremi pod pritiskom, Sl. glasnik RS, br. 120/2017.
- [25] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu, Sl. glasnik RS, br. 101/2005, 91/2015 i 113/2017 - dr. zakon.
- [26] Zakon o transportu opasne robe, Sl. glasnik RS, br. 104/2016, 83/2018, 95/2018 – dr. zakoni 10/2019 – dr. zakon.
- [27] Zakon o upravljanju otpadom, Sl. glasnik RS, br. 36/09, 14/16.
- [28] Zakon o hemikalijama, Sl. glasnik RS, br. 36/09, 88/10, 92/11, 93/12 i 25/15.
- [29] Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama, Sl. glasnik RS, br. 87/2018.
- [30] Zakon o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanje usaglašenosti, Sl. glasnik RS, br. 36/2009.
- [31] Zakon o transportu opasne robe, Službeni glasnik Republike Srbije br. 104/16 i 83/18.
- [32] Zakon o zapaljivim i gorivim tečnostima i zapaljivim gasovima, Sl. glasnik RS, br. 54/15.
- [33] Zakon o zaštiti od požara, Sl. glasnik RS, br. 111/2009, 20/2015, 87/2018 i 87/2018 - dr. zakoni.

## 4. OSNOVNA SVOJSTVA AMONIJAKA

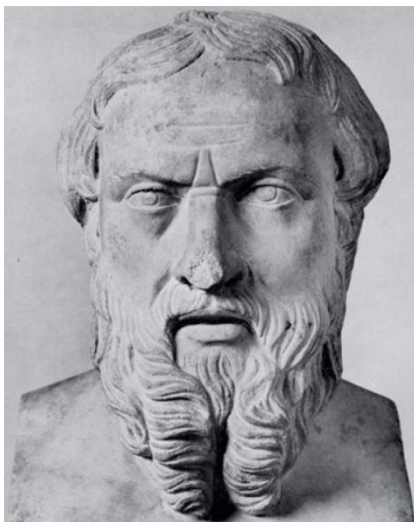
### 4.1. OTKRIĆE I ISTORIJA AMONIJAKA

Simbolično, dokumentovana bogata istorija amonijaka počinje od “oca istorije” čuvenog Grka – Herodotus-a. On je prvi opisao nalazište amonijaka u Siwa Oasis (slika 6) u severozapadnom Egiptu (današnja teritorija Libije) u V veku pre nove ere. Zbog jačine i prodornosti mirisa, dobio je ime po Amonu, egipatskom bogu vazduha, bogu životnog daha. Međutim, ova etimološka analogija ima i daleko dublji smisao. Upravo je postojanje amonijaka dokaz postojanja prvih primitivnih oblika života [1], [46].



*Slika 6. Siwa Oasis, Egipat - prvo prirodno nalazište amonijaka u starom veku*

Amonijak je bio dobro poznat i u Rimskom carstvu kao Hamonova so (Hammoniacus salt), u spisima Plinija mlađeg (Pliny the Elder, 23 – 79), slika 7.



*Slika 7. Herodot i Plinije mlađi*

Amonijak je za jednu od najvažnijih supstanci alhemije promovisao Abu Musa Jabir Ibn Hayyan (721-815), veliki protagonista rane hemije (alhemije), izumitelj destilacije, primene hemijskih supstanci u medicini i konstruktor opreme za hemijsko istraživanje koja se i danas upotrebljava u hemijskim laboratorijama.

Džozef Prisli (Joseph Priestley 1733-1804) je prvi izolovao amonijak u gasovitom obliku 1774. godine (iste godine je Prisli otkrio kiseonik), a tek 1785. godine francuski hemičar Klaud Luis Bartole (Claude Louis Berthollet, 1748-1822) prvi određuje elementarni sastav gasa amonijaka – slika 8.

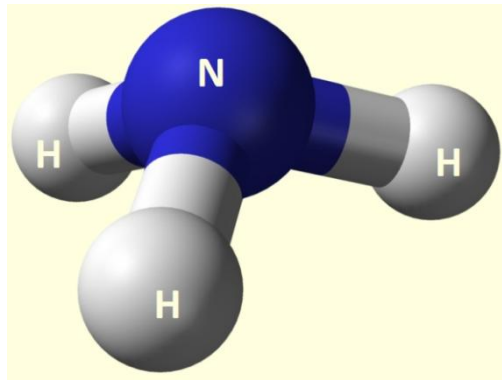


Slika 8. Abu Musa Jabir Ibn Hayyan, Džozef Prisli, Klaud Luis Bartelot

Time je označen kraj ere mistične alhemijske istorije amonijaka, a istovremeno je počela era hemijskog istraživanja jednog od najstarijih poznatih jedinjenja.

## 4.2. HEMIJSKE I FIZIČKE OSOBINE AMONIJAKA

Amonijak, hemijsko jedinjenje azota i vodonika ima molekulsku formulu  $\text{NH}_3$ , molarne mase od 17.0306 g/mol, strukture trigonalne piramide (slika 9). Granice agregatnog stanja amonijaka su tačka topljenja od  $T_t = -77,73^\circ\text{C}$  (beli kristal sa specifičnom gustinom  $\rho = 817 \text{ kg/m}^3$ ) i tačka ključanja od  $T_k = -33,34^\circ\text{C}$  (specifična gustina u tečnom stanju je  $681,9 \text{ kg/m}^3$ ). Na temperaturnoj granici pri prelasku iz tečnog u gasovito stanje amonijak postiže specifičnu gustinu od  $0,870 \text{ kg/m}^3$ . Na temperaturi od  $15^\circ\text{C}$  pri pritisku od 1013 mbar, specifična gustina amonijaka iznosi  $0,730 \text{ kg/m}^3$ .



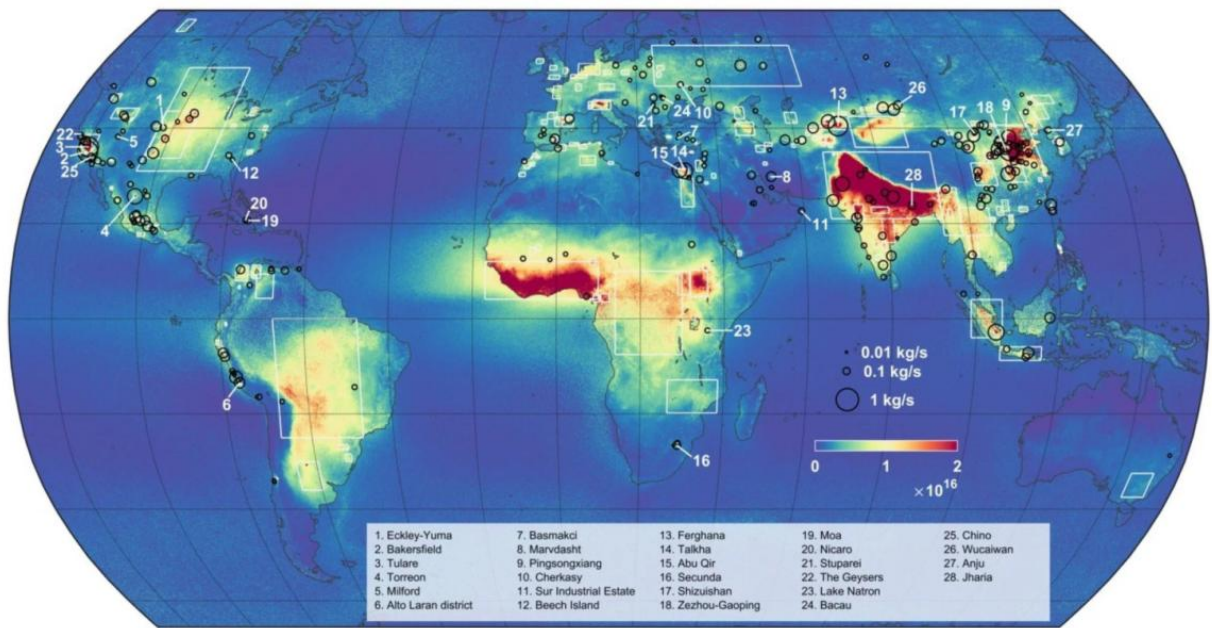
Slika 9. Trigonalna piramida molekula amonijaka  $NH_3$

Temperatura samozapaljenja amonijaka je  $651^{\circ}C$ , a toplotna moć amonijaka iznosi 22500 KJ/kg. Sa 15-28% učeća u vazduhu amonijak gradi eksplozivnu smešu.

### 4.3. PRIRODNI IZVORI AMONIJAKA

U prirodi, amonijak se nalazi u atmosferi. Na slici 10 su dati rezultati merenja koncentracije amonijaka u zemljinoj atmosferi za 2018. godinu, koji su ustanovljeni programom MetOp satelitske misije EUMETSAT [56], [57]. Ova misija je ustanovila da pored antropogenog faktora (industrijske proizvodnje) postoji velike oblasti prirodne emisije visokih koncentracija amonijaka u atmosferu kao što su zapadna Afrika i severna Indija. Karakterističan slučaj je jezero Natron u Tanzaniji koje emituje visoke koncentracije amonijaka zbog intenzivnog raspada algi. Izraziti značaj je ubrzao razvoj metode za permanento, dnevno merenje koncentracije amonijaka u atmosferu zasnovane na spektroskopiji [47].

Posle satelitske misije EUMETSAT i analize dobijenih rezultata, usledile su mnoge direktive o obaveznom smanjenju emisije amonijaka u atmosferu. Na primer, zemlje EU su se obavezale da do 2020. godine svedu emisiju amonijaka na nivo iz 2005. godine. Osim proizvodnje, poznati su i drugi antropogeni izvori amonijaka u atmosferi [49], [49]. Alkalne kiše su manji, ali značajan izvor emisija amonijaka u zemljinu atmosferu [1].



Slika 10. Raspodela amonijaka u zemljinoj atmosferi, 2018. godina [28]

Prirodni izvori amonijaka u zemljištu su amonijum-hlorid (poznati prehrambeni aditiv E510) i amonijum sulfat, koji se nalaze u blizini vulkana (slika 11) [62]. Do sada su ustanovljene značajne promene u vegetaciji usled uticaja amonijaka u atmosferi [36].

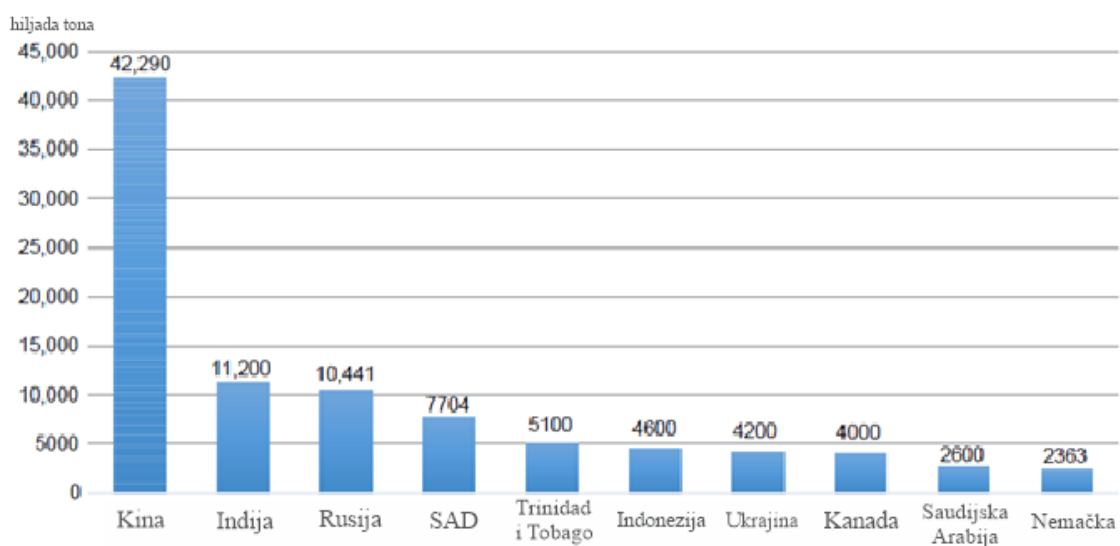


Slika 11. Amonijum-hlorid (aditiv E510) i prirodni zvor amonijum-sufata

#### 4.4. INDUSTRIJSKA PROIZVODNJA AMONIJAKA

Za potrebe industrije, prirodni izvori amonijaka nisu omogućavali dovoljne količine. Posebno karakteristični su zahtevi za azotnim sirovinama i amonijakom u proizvodnji eksploziva. Zbog toga su azotne sirovine imale status “strateškog proizvoda” zbog kojeg su se vodili ratovi – Pacifički rat Čilea protiv Bolivije i Perua (1879-1884). Pobedom u ovom ratu, Čile je preuzeo strateške rezerve šalitre (čileanska šalitra, natrijum nitrat,  $\text{NaNO}_3$ ). U I svetskom ratu, od posebnog strateškog značaja je bila strateška blokada nemačkog pristupa šalitri. Donekle, to je i ubrzalo Haberov industrijski proces proizvodnje amonijaka iz vazduha. Činjenica je da atmosfera sa 78% azota predstavlja najizdašniju rezervu ovog hemijskog elementa. Nemački hemičar Fric Haber (Fritz Haber, 1868-1934) je 1918. godine po završetku I svetskog rata dobio Nobelovu nagradu iz hemije, upravo za izum industrijske sinteze amonijaka iz vazduha. Ovaj izum je u velikoj meri promenio svet [6], [10].

Procenjena proizvodnja amonijaka u 2016. godini je iznosila skoro 140 miliona tona. Na slici 12 je prikazana proizvodnja amonijaka po državama i to: Kina  $42 \cdot 10^6$  t, Indija  $11 \cdot 10^6$  t, Rusija  $10 \cdot 10^6$  t, USA sa oko  $7 \cdot 10^6$  t, Trinidad i Tobago  $5 \cdot 10^6$  t, Indonezija  $4 \cdot 10^6$  t, Kanada  $4 \cdot 10^6$  t, itd. Prosečna cena amonijaka u 2016. godini je iznosila oko 270 \$/toni. Godišnji ekonomski bilans tržišta amonijaka u svetu iznosi oko  $40 \cdot 10^9$  \$.



Slika 12. Najveći proizvođači amonijaka u svetu u 2016. godini [23]



## 4.5. PRIMENA AMONIJAKA

Zbog zadovoljavajuće toplotne moći (koja je veća od toplotne moći uglja mlađeg geološkog doba), amonijak se koristio kao pogonsko gorivo motora su unutrašnjim sagorevanjem kao substitucija pri nedostatku derivata fosilnih goriva (benzina ili dizela). To je bio slučaj pogona autobusa javnog saobraćaja u Belgiji tokom II svetskog rata. Amonijak odlikuje visoka vrednost oktanskog broja od 120 oktana, kao i niska temperatura plamena što omogućuje visoku kompresiju, bez emisije ugljen monoksida ili ugljen dioksida. Međutim, zbog velikog kapaciteta zagađenja azotovim oksidima  $\text{NO}_x$ , upotreba amonijaka u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem je generalno nepoželjna i za sada neprihvatljiva u praksi, ali ne i u istraživanjima [47]. Jedna od osnovnih uloga aditiva “AdBlue” je upravo eliminacija malih količina azota u gorivu.

Tečni amonijak se koristio i kao raketno gorivo za pokretanje hipersoničnih raketa X-15, raketni motor XLR-99 potiska od 254 kN (slika 13). Međutim, zbog kratkog vremena leta (maksimalno do 150 sekundi) i frekventnih potreba za remontom motora (na svakih 20 do 40 letova), raketni motor sa amonijakom se pokazao kao nepouzdan i nebezbedan te je projekat trajno napušten.



*Slika 13. Autobus sa SUS motorom na pogonsko gorivo amonijak i raketni motor X15*

I pored navedenih nedostataka, amonijak je jedno od perspektivnih izvora čvrstim oksidirajućim gorivim ćelijama (SOFC – *Solid Oxide Fuel Cells*) za konverziju hemijske energije u električnu energiju. Prvi SOFC je otkriven još davne 1899. godine, nemački fizički hemičar Valter Herman Nerst (1864-1941) dobitnik Nobelove nagrade za hemiju 1920. godine. Novi rezultati istraživanja, amonijak ocenjuju kao gorivo za SOFC procese sa

visokim potencijalom, sa ukupnim potencijalom ćelije od 0,78 V u trajanju od oko 400 h. Problem SOFC-a generalno je visoka radna temperatura (od 700°C do 900°C).

U ovom procesu amonijak se u potpunosti razgrađuje na vodonik ( $H_2$ ) i azot ( $N_2$ ) [10]. Problem je svakako temperatura samozapaljenja vodonika (570°C) koja je niža od radne temperature SOFC. I pored toga, amonijak ima dobru perspektivu zbog visokog sadržaja [49], tj. kao izuzetan izvor vodonika - goriva sa najvećom toplotnom moći [49].

Amonijak je danas jedan od najviše istraženih hemijskih jedinjenja. Razlog tome je nesporan značaj amonijaka u mnogim privrednim granama, od proizvodnje plastike i eksploziva, za sintezu azotne kiseline, u proizvodnji boja, u rashladnim sistemima, itd. Proizvodnja amonijaka je ključna za svetsku poljoprivrednu proizvodnju. Oko 90% proizvedenog amonijaka se koristi u poljoprivredi (slika 14 i 15).



Slika 14. Direktna primena amonijaka u poljoprivredi [15]



Slika 15. Različiti tipovi veštačkog đubriva zasnovanih na amonijaku i azotu

Za primenu u industrijskim rashladnim sistemima, amonijak je još uvek dominantan rashladni fluid. Za isti rashladni učinak, sistemi sa amonijakom imaju manje dimenzije cevovoda, dvostruko manje punjenje i manje dimenzije izmenjivača toplote. Zahvaljujući svojim termodinamičkim svojstvima i dalje je najbolji za razgranate cevne sisteme neophodne u hladnjačama velikih kapaciteta. Za sportske ledene arene je nezamenljiv. Rashladni sistemi sa amonijakom sadrže najveće inženjersko znanje i iskustvo u projektovanju, izgradnji, upotrebi i održavanju. Pri upotrebi, rashladni sistemi sa amonijakom imaju možda i najrazvijeniju sensoriku za sprečavanje akcidenata. Savremeni senzori imaju granicu za detekciju gasa za izuzetno male koncentracije amonijaka. Pri tome, eventualnim ispuštanjem u atmosferu ne utiče na razgradnju ozona i efekat staklene bašte. Na klizalištima, primena amonijaka kao rashladnog fluida postiže najbolji kvalitet leda. Rashladni sistemi zasnovani na ugljen-dioksidu su neuporedivo bezbedniji, ali su teži za projektovanje kaskadnih sistema i imaju veće operativne troškove.

#### 4.6. AMONIJAK U MEDICINI

Amonijak je prisutan u svim živim bićima u propisanim količinama. Nastajanje amonijaka se javlja usled neophodne redukcije azotovih oksida koji se nalaze u atmosferi ili redovne razgradnje proteina, kao jedna od glavnih komponenata metabolizma sisara. Normalan nivo amonijaka u krvi za odrasle osobe se nalazi u intervalu od 10 do 80  $\mu\text{g}/\text{dl}$ .

Povećanje koncentracije amonijaka u organizmu čoveka redovno ukazuju na oboljenje bubrega, disfunkciju jetre ili dijabetes [2], [1]. Najpoznatije oboljenje je hepatična encefalopatija koju karakterišu nagle personalne promene u raspoloženju od agresije do depresije, pogoršanje kognitivnih sposobnosti, itd. Javlja se usled ciroze jetre, a dijagnostifikuje se na osnovu povećanog nivoa amonijaka u krvi [38]. Obavezan pratilac sindroma koji nastaje usled povećanje koncentracije amonijaka u krvi je hipertenzija.

Drugo najčešće oboljenje koje dovodi do intoksikacije amonijakom je Rejev sindrom, koji se javlja uglavnom kod dece, a retko kod odraslih. Visoka koncentracija amonijaka nastaje tokom virusnih infekcija, usled nagle razgradnje velikog broja virusa i visokih temperatura

pacijenata, tj. intenzivne razgradnje proteina. Za razliku od redovne citroze jetre nastale od prekomerne upotrebe alkohola kojeg obično prati dijabetes, kod Rejevog sindroma povećanje koncentracije amonijaka prati smanjenje šećera u krvi. Rejev sindrom je uobičajeno praćen konvulzijama ili gubitkom svesti nastalim usled encefalitisa (oticanje mozga). Uz dobar medicinski tretman, efekti Rejevog sindroma su tranzitorni i ne ostavljaju trajne posledice.

Pored mnogobrojnih pozitivnih aspekata u industrijskoj proizvodnji i poljoprivredi, amonijak ima i poznata neželjena dejstva. Za prvi izveštaj o dejstvu amonijaka koji je stručno obrazložen, može se usvojiti Slotov izveštaj eksplozije amonijaka u fabrici sladoleda iz 1938. [57]. Od tada, sistematsko praćenje pokazuje da amonijak participira sa oko 32% u povredama nastalim od hemikalija [40].

Neželjeni efekti amonijaka se danas sistematski izučavaju u relativno novoj interdisciplinarnoj naučnoj oblasti opasnih materija – “*Accidentology*”. Iako su naredne činjenice poznate, amonijak je svrstan u opasnu materiju UN broja 1005, razred 2.3 (osnovni rizik otrovni gas), podrazred 8 (koroziivan gas) zato što:

- Amonijak ima hazardni potencijal za izazivanje teških oštećenja zbog toksičnih efekata zasnovanih na njegovoj alkalnoj hemijskoj prirodi. Letalna doza LD50 = 0,015 ml/kg. Osim elementarnog amonijaka, izvori toksičnosti su mnogobrojni [43].
- Prilikom udisanja može izazvati laringitis, tracheobronchitis, bronhiolitis, bronhopneumonije i plućni edem. Kod pacijenata koji su preživeli akutnu fazu može se razviti bronchiectasis, preosetljivost disajnih puteva, obliterantni bronhiolitis, hronična opstruktivna bolest pluća, a povremeno intersticijska bolest pluća. Prilikom udisanja, toksični efekti amonijaka su neizbežni.
- Amonijak, može izazvati promrzline od I do III stepena zbog njegove egzotermne prirode (tečni amonijak ima veliku standardnu entalpiju isparavanja od 23,35 kJ/mol). Povrede koje nastaju od smrzavanja imaju teške sistemske komplikacije i često imaju smrtne ishode [12-14].
- Zbog relativno niske tačke spontanog paljenja od 651°C i toplotne moći od 22500 kJ/kg, pri 15-28% učeća u vazduhu amonijak gradi eksplozivnu smešu koje su takođe mogući izvori akcidenata pa opekotine i povrede nastale mehaničkim dejstvom eksplozija mogu biti ishod akcidenata opasne materije amonijak [15-19].

Efekti akutne intoksikacije amonijakom, u eksperimentima *in vivo* na pacovima [36], dovode do smanjenja proizvodnje reaktivnog kiseonika, smanjenja aktivnosti super-oksidi-dismutaze (SOD), katalaze (CAT) i glutatin peroksidaze u nesinaptičkim mitohondrijama, što direktno dovodi do poremećaja u neurotransmisiji zbog povećanog nivoa slobodnih radikala. Poremećaji u odnosima antioksidativnih enzima SOD i CAT u stanju šećerne bolesti [52] nas opet vraća na povećanje nivoa amonijaka u ljudskom organizmu, sa donekle sličnim, ali posledicama smanjenog obima naspram akutnog trovanja amonijakom. Fenomeni akutne intoksikacije se uobičajeno javljaju pri dugotrajnom izlaganju malim koncentracijama amonijaka koje nisu dovoljne za provokaciju respiratorno-toksičnih efekata tj. ispod koncentracija amonijaka u vazduhu koje iritiraju grlo (od 300 do 400 ppm, 280 mg/m<sup>3</sup>) ili više od 25 ppm u 8-mo časovnom periodu.

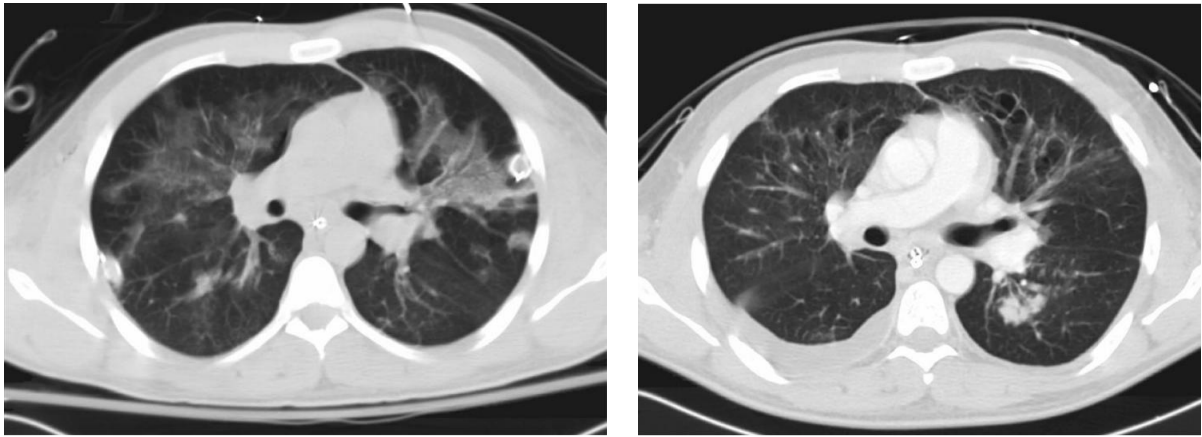
Koncentracije Amonijaka preko 700 ppm (oko 490 mg/m<sup>3</sup>) intenzivno iritiraju oči (slika 16).



Slika 16. Povrede očiju usled dejstva amonijaka [52]

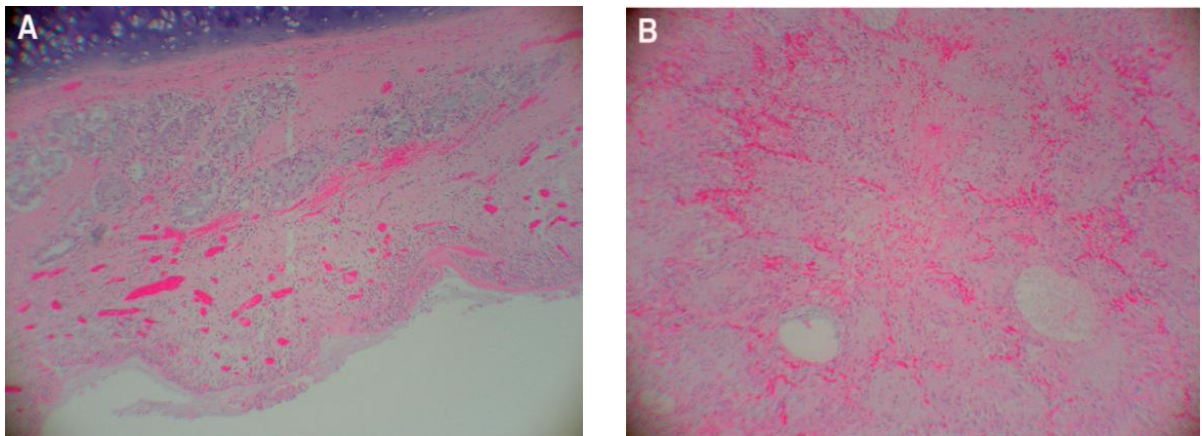
Koncentracije preko 1700 ppm izazivaju intenzivan laringospazam, tj. kašalj. Dalje povećavanje koncentracije do 2500 ppm je izdrživo uz naknadne posledice, a preko 5000 ppm-a koncentracija amonijaka je smrtonosna.

Pacijenti koji su inhalirali amonijak u koncentracijama većim od 2500 ppm (oko 1200 mg/m<sup>3</sup>), u pravilu se intubiraju zbog prekida rada endotrahealne tube (intenzivan spazam i moguć prekid rada dijafragme, obavezna visoka intoksikacija), sa nepoznatim stanjem bronha i traheja (slika 17). Ovi pacijenti, za održanje vitalne funkcije disanja zahtevaju intenzivnu eksternu ventilaciju sa vazduhom visoke saturacije kiseonikom i do 80% uz inhalacioni protisak od 30 i više cm živinog stuba.



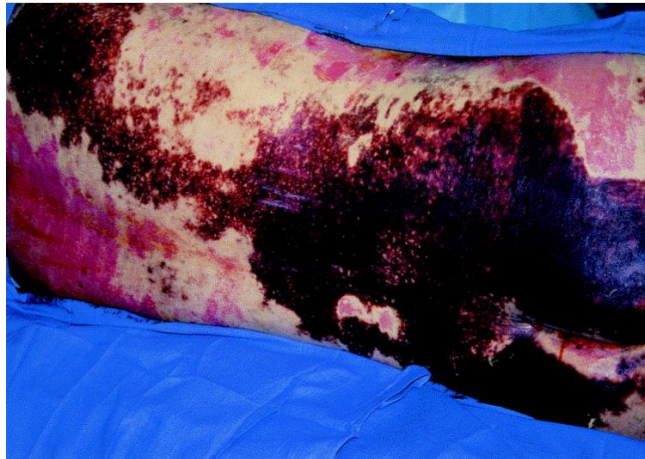
*Slika 17. CT (kompjuterizovana tomografija) pluća 7 i 29 dana posle akcidenta*

Usled nekroze plućnog tkiva, kod ovih pacijenata sa respiratornim povredama od visokih koncentracija amonijaka nesvršishodna je transplantacije pluća zbog intenzifikovanja infekcija (slika 18).



*Slika 18. Sudsko-patološka analiza nastradalog od inhalacije amonijaka [27]*

Za demonstraciju povreda smrzavanja usled dejstva amonijaka [2], izabrana je studija slučaja pacijenta sa 48% smrztina II I III stepena nastalih usled prskanja amonijaka u eksploziji fertilizera (slika 19). Kod pacijenta sa navedenim povredama je ustanovljen površinski pH 10 kože po prijemu, a u naredna 72 se razvila septikemija, sa visokom koncentracijom bakterija *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* u krvi. Nad pacijentom je zbog toga primenjen intenzivan antibiotski tretman. Osim dreniranja, prvi tretman kože je odložen do 5-tog dana.

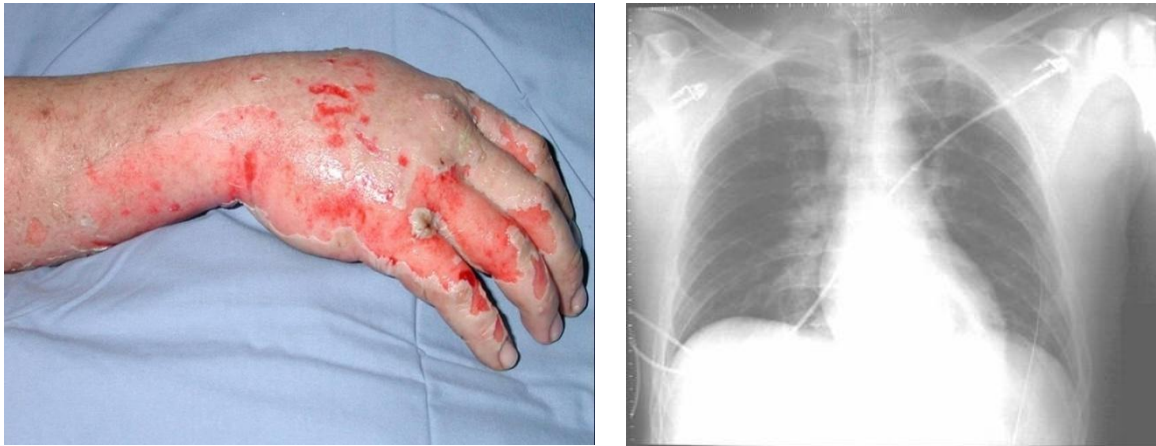


Slika 19. Studija slučaja povreda od prskanja amonijaka [2]

Intenzivnom negom, posle 45 dana kompleksnog bolničkog tretmana, pacijent je otpušten na kućno lečenje [15]. Značajno je napomenuti da povređeni radnik u trenutku akcidenta nije imao propisanu zaštitnu opremu, koja bi u velikoj meri umanjila posledice prskanja amonijaka (cena kombinezona za zaštitu od hemikalije amonijak iznosi oko 15.000 RSD).

Kako za proizvodnju širokog spektra korisnih i neophodnih proizvoda, ovaj spektar proizvoda na bazi amonijaka doseže i do nelegalne proizvodnje narkotika, metamfetamina, sintetičke droge kao intenzivno realizuje teške oblike zavisnosti sa invanzivnim razaranjem organizma i teškim psihičkim oštećenjima. Metamfetamin je jeftin za proizvodnju i može se konsolidovati u oblike koji su pogodni za ilegalnu distribuciju što ga favorizuje u narko-industriji.

Slučaj eksplozije amonijaka u ilegalnoj laboratoriji za proizvodnju metamfetamina je zabeležen u Ilinoisu, SAD. Pacijent je u ilegalnoj laboratoriji inicirao eksploziju amonijaka paljenjem cigarete. Pacijent je intubiran doveden u regionalnu bolnicu (*Division of Pulmonary and Critical Care Medicine*) sa opekotimana drugog stepena koje su zahvatile 16% površine kože. Takođe, pacijent je imao intenzivno suzenje očiju, otežano disanje, faringijalni eritem i oštećenje na plućima (slika 20) [32].



Slika 20. Posledice akcidenta eksplozije amonijaka pri ilegalnoj proizvodnji metamfetamina

Međutim, mehanizam dejstva amonijaka se ne završava hospitalizacijom. Morfološke i morfometrijske plućne alteracije nastale od asfikcije amonijakom mogu da prouzrokuju smrt i posle završetka hospitalizacije [59].

#### 4.7. SENZORSKI SISTEMI ZA AMONIЈAK

Senzori za detekciju amonijaka [65], kao i ostali senzori za detekciju prisustva opasnih materija se imperativno razvijaju sa jedinstvenim ciljem smanjenja rizika od akcidenata, pre svega zaštite na radu, sprečavanje materijalnih gubitaka i smanjenje potencijalnog zagađivanja, održanja radne funkcije vitalnih postrojenja u logističkom podsistemu proizvodnje, ali i ostalim logističkim podsistemima.

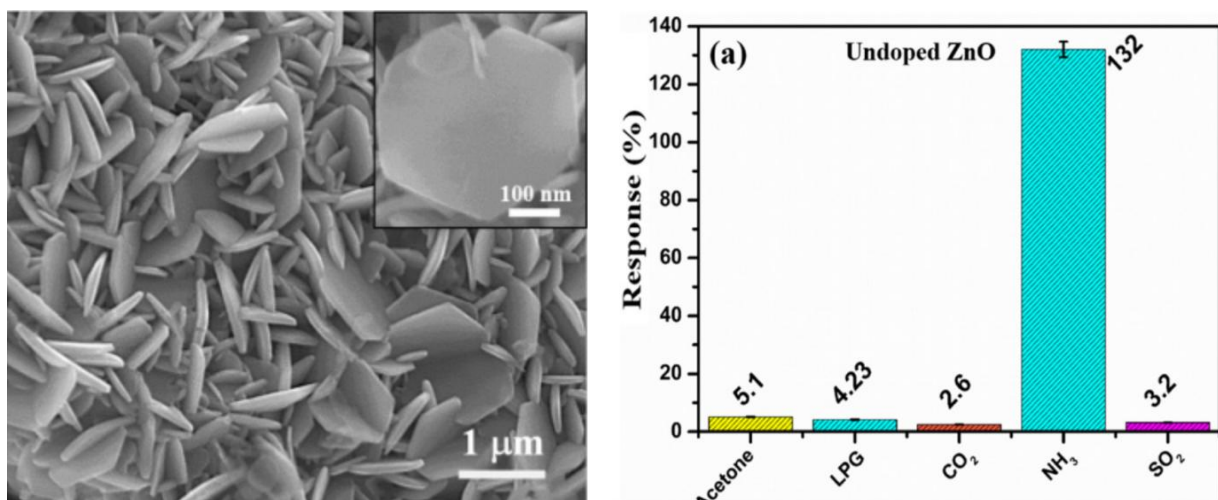
Opšti radni uslovi senzora za amonijak su pre svega definisani za široke opsege radnih temperatura, od sobne temperature i prosečnih atmosferskih temperatura, od niskih radnih temperatura u hladnjačama koje za osnovni rashladni fluid koriste amonijak, do izuzetno visokih temperatura u procesima industrijske proizvodnje u kojima je amonijak primaran proizvod ili u kojima nastaju proizvodi na bazi amonijaka [38]. Pored osnovnog zahteva senzori moraju biti otporni na varijacije vlažnosti, intenzivne izvore svetlosti, elektromagnetna zračenja, itd. Izrazito zahtevni uslovi rada senzora za detekciju prisustva amonijaka su posebno otežani zahtevima za brz odziv po osnovnim principima RTAS (*Real Time Activating System*). Senzori mogu biti sistemski i personalni [40].



Generalno, senzori za prisustvo amonijaka moraju registrovati koncentracije koje su daleko ispod nivoa koje ugrožavaju ljudske živote po preporukama IDHL (*Immediate Danger to Life and Health*) i koje podrazumevaju 15-to minutnu ekspoziciju koncentracijama amonijaka u vazduhu od 25-35 ppm, ili u 8-mo časovnom periodu ne veću od 25 ppm [41].

Za početak razvoja senzora za prisustvo gasa se mogu usvojiti istraživanja sa  $\text{SnO}_2$ , dioksid kalaja, koji je senzitivn na prisustvo mnogih gasova kao što su vodonik, ugljen-monoksid, metan, etan, itd [60]. Međutim, na prisustvo amonijaka senzitivnost  $\text{SnO}_2$  izostaje. Dodavanjem oksida antimona (Sb), paladijuma (Pd), olova (Pb), kadmijuma (Cd), volframa (W), nikla (Ni), proširivala se lista sensorisanih gasova, ali je prisustvo amonijaka u vazduhu i dalje izostajalo [57]. Eksperimentalno je utvrđeno da kalaj-dioksid postaje senzitivn na prisustvo amonijaka u vazduhu tek po dodavanju cink-oksida [49]. Daljim istraživanjima, ustanovljeno je da cink-oxid samostalno ima bolju senzitivnost na prisustvo amonijaka.

Danas, dominantni senzori za detekciju prisustva amonijaka su poluprovodnički elementi zasnovani na metalnim oksidima. Aktuelno, oni se svrstavaju i razvijaju u okviru nanostrukturnih elemenata. Najprimenljiviji oksidi su  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ , itd. (slika 21). Među navedenim oksidima, najbolje rezultate u detekciji prisustva amonijaka i dalje poseduje  $\text{ZnO}$ , cink-oxid. Uz povoljnu energiju podsticaja od 60 meV, ovaj senzor ima visoku jonizaciju i transparentnost, biokompatibilan i nije štetan za prirodnu okolinu. Ovaj nanostrukturni senzor može da detektuje i druge opasne materije, na primer ugljen dioksid ili LPG, ali sa neuporedivo lošijim odzivom na njihovo prisustvo [13].



Slika 21. Struktura  $\text{ZnO}$  i odzivi na različite opasne materije sa izraženom dominacijom sensorisanja prisustva amonijaka [13]

I pored visoke pouzdanosti, najveći nedostatak ovih senzora je sporo vreme odziva. U sistemima prevencije i zaštite, pri akcidentima sa intenzivnim oslobađanjem amonijaka u radnu atmosferu, vreme reakcije senzora nije zadovoljavajuće. ZnO ima relativno visoko odgovora na koncentracije amonijaka od 100 ppm, koje iznosi 22.6 sekundi [2]. Ovo vreme reakcije generalno nije zbog mogućnosti postizanja visokih koncentracija amonijaka u radnoj atmosferi, posebno za zatvorene prostore tipa hladnjača zbog radnog pritiska osnovnog rashladnog fluida intenzivnog isticanja amonijaka.

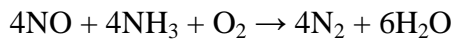
Prvo značajno skraćjenje, ali samo u slučaju viših koncentracija od 300 ppm je ostvareno dodavanjem oksida hroma, čime je dobijeno reakciono vreme od 13,7 sekundi [52]. Dodatak kadmijuma u nanostrukturu ZnO pri koncentracijama od 100 ppm spušta reakciono vreme na svega 5 sekundi [62], ali u selektivnim temperaturnim intervalima. Najbolje rezultate vremenskog odziva pri koncentracijama od 100 ppm postiže se dodavanjem nikla u nanostrukturu ZnO. Ova vremena su zadovoljavajuća i iznose od 15,10 [53] pa do 2,52 [43] sekunde za široke opsege radnih temperatura.

Pored aktuelnih senzora zasnovanih na nanostrukturama, postoje i standardni elektrohemijski senzori sa elektrodama radnih napona od 3,7 do 9 Volti, heterogenih radnih zahteva (pored amonijaka detektuju prisustvo ugljen monoksida ili sumpor dioksida).

Značajnu kategoriju senzora predstavljaju prenosni sistemi zasnovani na laserskim diodama, uobičajenog radnog polja blizu infracrvenog zračenja (3-25  $\mu\text{m}$ ) [10]. Prisustvo amonijaka ima širok spektar blizu infracrvenog zračenja od 1,450 do 1,560  $\mu\text{m}$ , sa mogućnošću detekcije veoma niskih koncentracija od 0,2 ppm [6]. Međutim, zbog uskog snopa dejstva i pored izraženih kvaliteta, verovatnoća alarmiranja prisustva amonijaka laserskog sistema je još uvek daleko manja i nedovoljna za širu industrijsku primenu. Drugi problem ovog sistema je svakako cena, koja za povećanje verovatnoće otkrivanja zahteva višestruku multiplikaciju skupljih senzorskih aparata za detekciju prisustva amonijaka.

Potrebno je navesti i da se posebno razvijaju senzori za emisiju amonijaka iz vozila sa SUS motorima [47], [6] koji katalitičkom redukcijom primenom amonijaka smanjuju emisiju nepoželjnih i toksičnih azotovih oksida [66] u izduvnim gasovima, posebno u dizel motorima

[67]. Jednačina ove redukcije primenom amonijaka i atmosferskog kiseonika redukuje azotove okside na atmosferski azot i vodu.



Međutim, iskustva u konstrukciji i primeni ovih senzora nemaju poseban značaj za unapređenje bezbednosti na radu.

#### 4.8. PREGLED KARAKTERISTIČNIH AKCIDENATA SA AMONIJKOM

Akcidenti opasne materije amonijak i proizvoda na bazi amonijaka (najčešće amonijum-nitrat) spadaju među akcidente sa najtežim ustanovljenim posledicama. U nastavku su opisani reprezentativni akcidenti sa opasnom materijom amonijak u periodu od 1947. godine do 2019. godine. Prilikom izbora karakterističnih akcidenata, vođeno je računa da budu predstavljeni akcidenti po heterogenim lokacijskim obeležjima i različitim vremenskim okvirima, odnosno različitim tehničko-tehnološkim uslovima za opasne materije, kao i one akcidente sa najtežim mogućim posledicama.

Dana 16. aprila 1947. godine u luci grada Teksasa, SAD, došlo je do požara na brodu koji je prevezio amonijum-nitrat, što je izazvalo seriju požara i eksplozija (domino efekat) u lučkom skladištu sa velikim količinama uskladištenog amonijaka (slika 22). Eksplozije su trajale i sutradan, 17. aprila. Epilog je bio 536 poginulih i oko 3500 povređenih od čega oko 800 hospitalizovanih.



Slika 22. Akcident u luci u Teksasu 1947. godine [17]

Zbog promene inercije tečnog amonijaka u tankovima, pri nailasku železničkih cisterni u krivinu, oscilacije tečnosti i destabilizacije vagona u kretanju sa krajnjom posledicom iskliznuća vagona iz šina, dogodio se akcident takođe u SAD, Krit, 1969. godine (slika 23) [18]. Tom prilikom je zbog oštećenja tanka vagon-cisterne instantno u atmosferu ispušteno oko 30000 galona amonijaka. Srećom, zbog niske temperature vazduha ( $4^{\circ}\text{F} = -15.5^{\circ}\text{C}$ ) i slabog vetra, efekat amonijaka nije ispoljio najveći nivo invanzivnosti. Ipak, ovaj akcident je prouzrokovao tri fatalna ishoda i 53 povređenih.



*Slika 23. Akcident u Kritu, SAD 1969. godine [18]*

Akcident koji je unapredio standarde drumskog transporta opasnih materija realizovao se u maju 1976. godine u Hjustonu, SAD (slika 24). Zbog nepropisane brzine vožnje, kamion sa poluprikolicom je izgubio kontrolu na saobraćajnoj petlji severozapadnog autoputa. Do gubitka kontrole je došlo zbog sinergijskog dejstva neprekoračene brzine u malom radijusu krivine saobraćajne petlje i promene težišta cisterne usled velike centrifugalne sile. Intenzivna promena težišta u krivini malog radijusa je bila izazvana zbog delimičnog tovarenja tanka poluprikolice od oko 71% [16].

U istrazi je ustanovljeno da je ovaj procenat najnepovoljniji za intenzivnu promenu težišta, te da bi veća popunjenost cisterne izazvala manju promenu težišta i destabilizaciju poluprikolice. Po gubitku kontrole, kamion sa poluprikolicom je udario u jedan od stubova konstrukcije.

Oštećeni tank cisterne pod pritiskom je eksplodirao. Prve žrtve su nastradale zbog dejstva usled fragmenata. Tank cisterne je trenutno oslobodio 7000 galona amonijaka. Zbog respiratorno-toksičnog dejstva amonijaka ubijeno je 7 ljudi, a preko 200 ljudi je bilo povređeno. Usled nastalih povreda, veliki broj njih se nikada nije u potpunosti oporavio i nastavli su život sa plućnim lezijama. Učesnik akcidenta Karen Bijak (27 godina starosti) je umro 1979. od dokazanih respiratornih komplikacija uzrokovanih učešćem u akcidentu. Posle ovog akcidenta, ustanovljene su obavezne maksimalne brzine vozila za prevoz opasnih materija u drumskom transportu, uvođenje sertifikata za vozača i vozila, planiranja i prijave ruta drumskog transporta pri prevozu opasnih materija, itd.



*Slika 24. Akcident u Hjustonu 1976. godine [16]*

Reprezentativni akcident skladištenja amonijaka se dogodio 24. marta 1992. godine, u Luci Dakar, Senegal. Zbog nepropisno održavanog i prepunjenog tanka za skladištenje amonijaka, vlasništva fabrike za preradu ananasa, došlo je do rupture (eksplozije) na bešavnom delu tanka i to je omogućilo isticanja kompletnog sadržaja, procenjenog na oko 22.18 tona [27].

Tank je bio proizveden 1983. godine, a 1991. godine su vršena ispitivanja tanka pod pritiskom i bila je neophodna reparacija tanka koja je i izvršena. Posle reparacije, propisana je maksimalna količina od 17,68 tona koja se mogla utovariti u tank. Godinu dana posle remonta, pretovareni tank sa 22,18 tona amonijaka (skoro 5 tona više od maksimalno propisane količine) je ruptirao na repariranom delu.

Oblak amonijaka se pomerao i zahvatio zonu od 250 metara u trajanju od 15 minuta, a posle toga je reabsorbovan. Spasilačke ekipe nisu bile opremljene za ovakvu situaciju, pre svega zbog nedostatka zaštitnih maski.

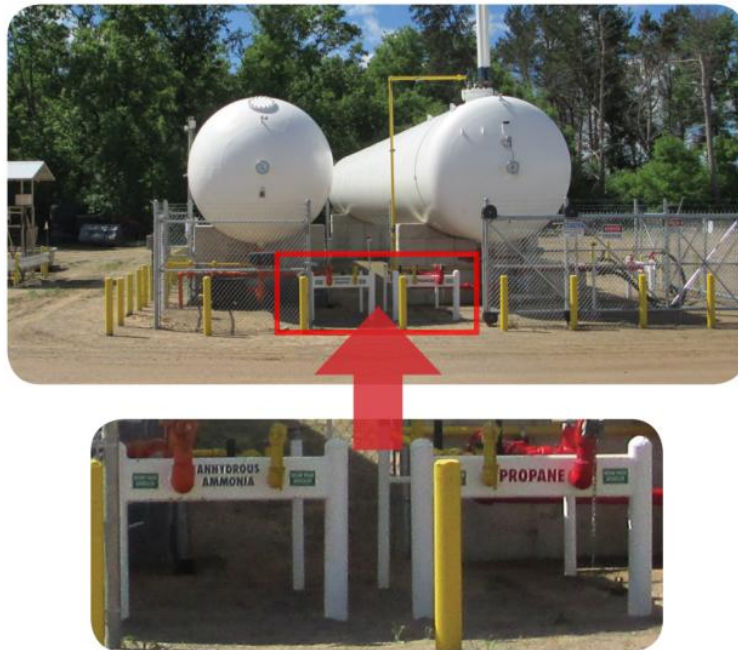
Veliki broj nastradalih je došao na mesto nesreće privučen zvukom eksplozije tanka (slika 25). Zbog lezija nastalih od edema pluća, u narednim danima je preminulo 116 osoba, a sa teškim i lakšim otečenjima tj. povredama je evidentirano 1150 osoba. Ukupan broj nastradalih usled komplikacije (verovatno infekcija) je u konačnom ishodu bio 129.



*Slika 25. Akcident sa amonijakom u Dakaru 1992. godine [27]*

Interesantan i po mnogo čemu karakterističan akcident se dogodio u podsistemu skladištenja, u Minesoti, SAD, 1999. godine. U dva tanka za propan, ukupne zapremine  $136 \text{ m}^3$  (70% punih sa propanom), iako propisno obeleženi, greškom je utovareno oko  $20 \text{ m}^3$  amonijaka. Naime, amonijak i propan imaju slične nadznenne tankove na skladišnom prostoru

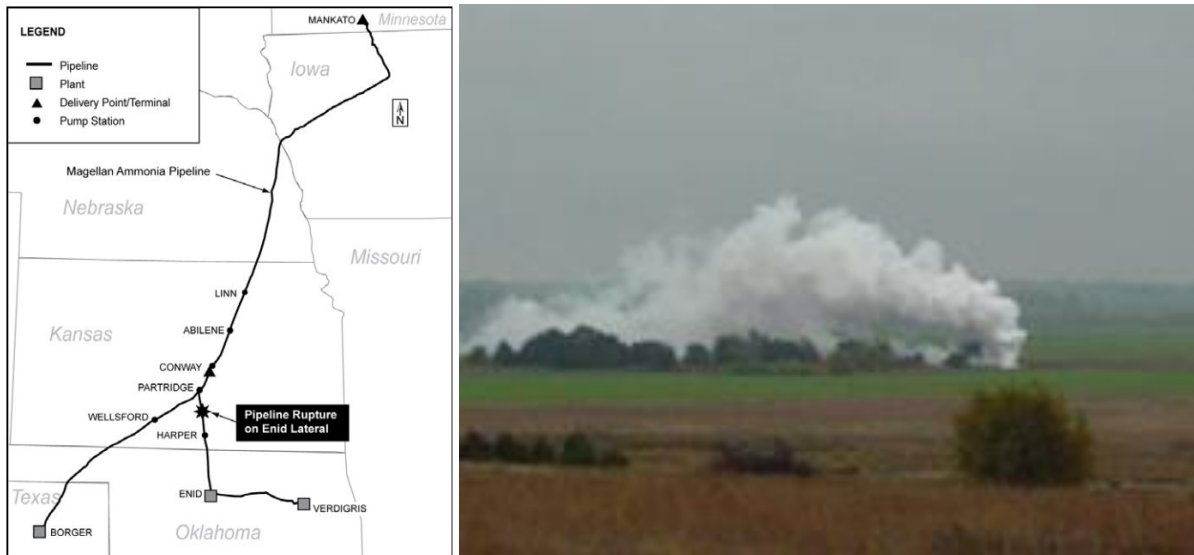
rezervisanom za opasne materije. Uobičajeno su tankovi locirani jedan pored drugog, gotovo identičnog barijernog perimetra, sa sličnim ventilima i razvodnim cevima. Optički, veoma slični (slika 26), u slučaju odsustva stručnog rukovanja mogu da se međusobno substituišu. Pod pritiskom, obe opasne materije su u tečnom stanju, sa jasnom separacijom. Amonijak korozivno deluje na tank za propan. Sa većom specifičnom težinom tečni amonijak tone na dno tanka. Svaka od razdvojenih tečnih faza formira svoj parcijalni pritisak pare. Pojedinačni pritisci pare nisu dovoljni za rupturu tanka, ali suma parcijalnih pritisaka za preko 10% amonijaka u tanku za propan, izaziva rupturu tanka i zapaljenje propana. U ovim uslovima neizostavno dolazi do zagrevanja amonijaka iznad tačke paljenja i zapaljenja, te eksplozije obe opasne materije. Posle uočene greške u pretovaru izvršena je propisna evakuacija, te u ovom akcidentu nije bilo nastradalih radnika.



Slika 26. Sličnost tankova za amonijak i propan, akcident u Minesoti 1999. godine [27]

Oktobra 2004. godine iz cevovoda (dijametar 8 inča tj. 20,32 cm) vlasnika “Enterprise Products Operating L.P.” je zbog rupture omogućeno isticanje oko 770.000 litara dehidriranog amonijaka [30]. Ovaj cevovod je jedan od najvećih sistema za cevni transporta amonijaka, nalazi se u SAD i proteže se od savezne države Teksas, preko Oklahome, Kanzasa, Nebraske, Ajove do Minesote, tj. kroz agrarno najrazvijeniji deo SAD. Ime ovog cevovoda je simbolički nazvano “Magelan” i od krucijalnog značaja je za ukupnu poljoprivrednu proizvodnju u SAD. Lokacija rupture je bila u Kanzasu. Isticanjem u vodotok

obližnjeg ribnjaka, došlo je do pomora oko 25000 komada ribe. Procenjena šteta je preko 1 milion dolara (slika 27). Pored izazvane materijalne štete u ovom akcidentu nije bilo povređenih i poginulih radnika. Detaljan izveštaj o akcidentu formiran je od strane USA – *National Transportation Safety Board* i dostupan je na internetu [30].



Slika 27. Cevovod “Magelan” i njegovo prostiranje sa akcidentom rupture u Kansasu 2004. godine [30]

Potencijal za eksplozijom opasne materije amonijak se dogodio u fabrici za proizvodnju petro-nitroanilina u “Vatva GIDC” u Ahmedabadu, Indija, 2010. godine (slika 28). Akcident se realizovao zbog pucanja tanka za sladištenje amonijaka i formiranja eksplozivne smeše sa vazduhom [15]. Od prisutnih 25 radnika, 5 je povređeno od fragmenata eksplozije od kojih je jedan podlegao povredama tokom hospitalizacije.



Slika 28. Ostaci postrojenja fabrike u Ahmedabad posle akcidenta 2010. godine [15]



Akcident zbog kvara na rashladnim uređajima u hladnjači za obradu pilećeg mesa realizovao se u *Weng's Cold Storage Industrial Co. Ltd.* Šangaj, Kina, 31. avgusta 2013. godine (slika 29). Zbog isticanja amonijaka iz rashladnog sistema u ovom akcidentu je poginulo 25, a povređeno 26 radnika. Iako je jedna od vodećih svetskih ekonomija, sa izrazitom dominacijom u proizvodnji mnogih opasnih materija, za Kinu je do 2010. godine bio karakterističan izrazito nizak stepen zaštite na radu, pre svega u logistici opasnih materija. Ovaj kao i mnogu drugi akcidenti su podstakli intenzivna istraživanja u ovoj oblasti, posebno za amonijak kao jednu od najznačajnijih opasnih materija [62].



Slika 29. Akcident u Shanghai Weng's Cold Storage Industrial Co. 2013. godine [19]

Dramatična eksplozija, koja je imala odlike slabe nuklearne eksplozije, dogodila se u “*West Fertiliser Company*” blizu Vako u SAD, 17. aprila 2013. godine (slika 30). Prvo upozorenje na požar prijavili su građani oko 17h i 30 minuta, a nakon nekih 20 minuta desila se masovna eksplozija. Registrovani potres zemljišta nastao posle eksplozije je bio preko 2 stepena Rihterove skale na udaljenosti seizmometra od preko 100 km od lokacije akcidenta.

Ukupna količina materija koja je zahvaćeno ovom eksplozijom je bila oko 50 tona FGAN (*fertilizer grade ammonium nitrate*, UN 2067, razred 5.1) u proizvodnoj jedinici, oko 100 tona FGAN spremno za otpremu u železničkim kolima, oko 17 tona amonijaka u železničkim kolima. U skladištima kompanije je bilo oko 70 tona diamonijum fosfata, između 60 i 70 tona amonijum sulfata i oko 17 tona cink sulfata (UN 3077) [16]. Po drugim podacima, u železničkim kolima je bilo oko 55 tona amonijaka.



*Slika 30. Eksplozija u West Fertiliser Company, Teksas, SAD 2013. godina [21]*

Po izveštaju komisije, akcident je iniciralo prepunjeno skladište cink sulfata. Međutim, iako je cink-sulfat opasna materija, smatra se da ona po svojim karakteristikama i pozicijama u skladištu nije mogla da izazove inicijalne uslove za akcident ovolikih razmera.

S obzirom na ukupnu osiguranu vrednost i isplaćene naknade za štetu, u nizu propusta koji su naknadno ustanovljeni, jedan od evidentiranih uzroka je isticanje amonijaka iz železničkih kola na industrijskim kolosecima kompanije (slika 31). Zbog toga su kontradiktorne izjave o količini amonijaka u železničkim kolima posebno značajne. Epilog akcidenta je 15 nastradalih, preko 260 povređenih.



*Slika 31. Ostaci železničkih kola za prevoz amonijaka, posle akcidenta [21]*

Akcident u “Karslberg” pivari iz Northemptona u Engleskoj 2016. godine, realizovao se u kompresorskoj jedinici hladnjaka za temperiranje sastojaka proizvodnje (slika 32). Konstrukciono slabo utvrđen, čitav kompresorski sistem je usled vibracija tokom rada promenio projektovane dimenzije i statički opteretio cevi za tok amonijaka. Posle alarmiranog isticanja amonijaka, na sanaciju ovog problema poslali su radnici održavanja bez propisne opreme. Radnici su pokušali da dizalicama vrate kompresor u propisane dimenzije. Međutim, tokom te operacije došlo je do intenzivnog isticanja amonijaka na problematičnom ventilu kompresorske jedinice. Tom prilikom, poginuo je jedan od radnika, a dodatno 22 radnika je bilo hospitalizovano zbog neadekvatnog pristupa problemu sa opasnim materijama [19].



*Slika 32. Kompresorska jedinica pivare “Karslberg” iz Northemptona [19]*

Poučan primer akcidenta se dogodio 16. oktobra 2017. godine u Fernie Memorijalnoj Areni, Britanska Kolumbija, SAD [22]. Primer je poučan iz razloga prolongiranja obaveza za održavanje sistema za proizvodnju i održavanje leda (klizališta) zbog bezuslovnog insistiranja menadžmenta arene za organizovanje takmičenja, neuvažavanje prioriteta i smanjenja angažovanja zaposlenih na održavanju sistema.

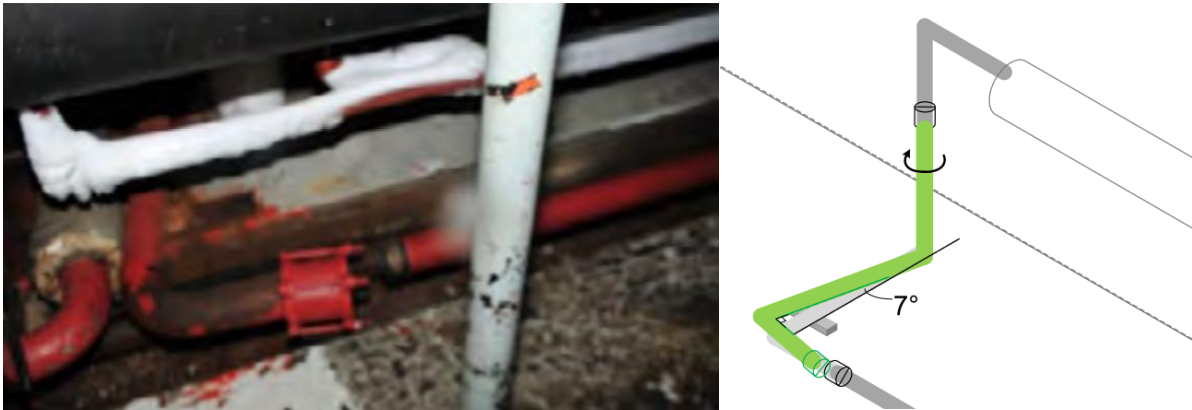
Pojedini segmenti rashladnog sistema su bili stari više od 30 godina i odavno su premašili propisani period pouzdanog rada od 18 godina. Generalni remont glavnog hladnjaka je trebao biti obavljen 2011. godine. Međutim, poslednji manji kvarovi na sistemu su se dogodili 2014. godine i sistem je naizgled radio besprekorno. Tokom perioda mirovanja, jula i avgusta 2017. godine, u dva navrata su izmerene više koncentracije amonijaka (od 3320 ppm i 1830 ppm). Kako sistem nije bio u pogonu (sezonska pauza), ove visoke koncentracije su pravdane zasićenošću filtera za vazduh, koji se svakako menjaju pre sezonskog uključivanja [22].

Posle letnje pauze, rashladni sistem je ponovo pušten u rad bez prethodne detaljne provere ključnih agregata. Zbog lošeg stanja glavnog hladnjaka, došlo je do povećanja pritiska u cevima sistema za protok amonijaka, što je izazvalo rupturu (slika 33).



*Slika 33. Stanje hladnjaka sa uočljivom korozijom koja je smanjila propisane dimenzije rashladnih otvora i ruptura cevi od oko 1 mm kroz koju je isticao amonijak [22]*

U 15:53 h, senzori su alarmirali prisistvo amonijaka u vazduhu koje je nastalo usled ruptуре prikazane na slici 34. Ova ruptura je najverovatnije bila uzrok visokih koncentracija evidentiranih tokom jula i avgusta iste godine. Sistem je odmah ugašen, sa ciljem da se kvar otkloni, ali je postignuti pritisak u cevima ostao. Jedna od cevi kod glavnog kompresora (najveći pritisak se postiže na izlazu iz kompresora) je bila ugrađena u sistem sa dve spojnice. Cev je imala potporni nosač, ali nije bila obezbeđena na torziona naprezanja. Zbog torzionog pomeranja od 7 stepeni u gornjoj spojnici došlo je do odvajanja donje spojnice, što je omogućilo intenzivno isticanje amonijaka pod visokim pritiskom (slika 34).



*Slika 34. Odvojena spojnica i šematski prikaz torzione deformacije u gornjoj spojnici i odvajanje donje spojnice, akcident u Fernie Memorial Arena [22]*

Na dežurstvu su bila tri radnika, koja su pokušala do ustanove i otklone kvar. Sa namerom da provere stanje kompresora, ušli su u prostoriju sa kompresorima bez zaštitne opreme i personalnih senzora za amonijak. Nisu poznate njihove aktivnosti u kompresorskom postrojenju, ali je činjenica da se u njihovom prisustvu dogodilo torziono odvajanje spojnice. Procene su da je u vrlo kratkom roku postignuta koncentracija od 20000 ppm amonijaka u vazduhu, koja je daleko iznad smrtonosne. Naknadnom analizom je utvrđena sistemska korozija u čitavom rashladnom sistemu koja je bila rezultat nesipravnog održavanja sistema. Detaljna analiza ovog akcidenta je dostupna na internetu [15].

U Republici Srbiji se u januaru 2017. godine dogodio akcident opasne materije amonijak sa fatalnim posledicama u HIP-Azotara Pančevo. Zbog curenja amonijaka u proizvodnom pogonu "Karbamid" preminuo je radnik od posledica trovanja. Kod preminulog radnika su takođe bile ustanovljene duboke smrztotine po licu i ostalim nezaštićenim delovima tela, što upućuje na visoku koncentraciju izlivenog amonijaka u proizvodnom pogonu.

Poslednji evidentirani akcident u Republici Srbiji sa opasnom materijom amonijak, odnosno serija akcidenata u periodu od nekoliko nedelja, dogodila se početkom 2019. godine kod sela Jasenovik na pruzi Niš-Zaječar (slika 35). Zbog tehničke neispravnosti železničke infrastrukture, došlo je do iskliznuća iz šina i prevrtanja železničkih kola-cisterni sa amonijakom u nekoliko navrata. Usled velikog oštećenja kola-cisterni, prvo je amonijak pretočen u drugu cisternu i tek onda se pristupilo podizanju oštećene cisterne.

Zbog mogućeg akcidenta prilikom uklanjanja kola-cisterni sa amonijakom, svi meštani Jasenovika su evakuisani iz sela. Serija akcidenata sa opasnom materijom amonijak na ovoj pruzi i sanacija istih je prošla bez posledica po zdravlje i život ljudi.



Slika 35. Prevrtnje kola-cisterne sa amonijakom na pruzi Niš-Zaječar, 2019. godina [33]

Na kraju ovog poglavlja u tabeli 2 je kratak pregled karakterističnih akcidenata sa amonijakom spomenutih u ovom poglavlju. Ukupno je analizirano 13 reprezentativnih akcidenata sa opasnom materijom amonijak. Akcidenti su birani po različitim kriterijumima, tako da se razlikuju po broju povređenih i poginulih, pričinjenoj šteti po životnu sredinu ili materijalna dobra, kao i različitim prostornim i vremenskim okolnostima za realizaciju neželjenog događaja. Svaki akcident je prikazan po lokaciji, godini akcidenta, kratkom opisu neželjenog događaja i posledicama koje je izazvao po zdravlje i život ljudi.

Tabela 2. Pregled analiziranih akcidenata sa amonijakom

Redni broj	Lokacija	Godina	Kratak opis akcidenta	Posledice po zdravlje i život ljudi
1.	Teksas, SAD	1947.	požar na brodu koji je prevezio amonijum-nitrat	536 poginulih i oko 3500 povređenih
2.	Krit, SAD	1969.	iskliznuće vagona sa amonijakom iz šina	tri fatalna ishoda i 53 povređena
3.	Hjuston, SAD	1976.	prevrtanje cisterne sa poluprikolicom napunjeno amonijakom	poginulo 7 lica i preko 200 povređenih
4.	Dakar, Senegal	1992.	curenje prepunjenog tanka za skladištenje amonijaka	nastradalih 129 lica i 1150 osoba sa teškim i lakšim povredama
5.	Minesota, SAD	1999.	u tank za propan greškom je utovaren amonijak	nije bilo nastradalih radnika
6.	Cevovod Magelan, SAD	2004.	ruptura cevovoda omogućila isticanje dehidriranog amonijaka	pomor oko 25000 komada ribe, nije bilo povređenih i poginulih radnika
7.	Ahmedabadu, Indija	2010.	pucanje tanka za skladištenje amonijaka	jedan radnik nastradao, pet povređeno od fragmenata eksplozije
8.	Šangaj, Kina	2013.	isticanja amonijaka iz rashladnog sistema	poginulo 25 i povređeno 26 radnika
9.	Vako, SAD	2013.	isticanje amonijaka iz železničkih kola na industrijskim kolosecima	15 nastradalih i preko 260 povređenih
10.	Northampton, Engleska	2016.	isticanje amonijaka iz kompresorske jedinice	poginuo jedan radnik i 22 radnika hospitalizovano
11.	Britanska Kolumbija, SAD	2017.	neodržavanje sistema za proizvodnju i održavanje leda	tri radnika hospitalizovano
12.	Pančevo, Srbija	2017.	curenje amonijaka u proizvodnom pogonu	preminuo jedan radnik i nepoznat broj povređenih
13.	Jasenovik, Srbija	2019.	iskliznuće železničkih kola-cisterni sa amonijakom iz šina	bez posledica po zdravlje i život ljudi

## LITERATURA

- [1] Akindele A.A., Sartaj M., The toxicity effects of ammonia on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste, *Waste Management*, 71, pp. 757–766, 2018.
- [2] Amshel C.E., Fealk M.H., Phillips B.J., Caruso D.M. Anhydrous ammonia burns case report and review of the literature, *Burns*, 26, pp. 493-497, 2000.
- [3] Anantachaisilp S., Smith S.M., Ton-That C., Osotchan T., Moon A.R., Phillips M.R. Tailoring deep level surface defects in ZnO nanorods for high sensitivity ammonia gas sensing, *Journal of Physical Chemistry*, 118, pp. 27150–27156, 2014.
- [4] Anjana N.S, Amarnath A., Nair M.V.H., Toxic hazards of ammonia release and population vulnerability assessment using geographical information system, *Journal of Environmental Management*, 210, pp. 201-209, 2018.
- [5] Barrett, K., Oceanic ammonia emissions in Europe and their boundary fluxes, *Atmospheric Environment*, 32, 381-391, 1998.
- [6] Claps R., English F.V., Leleux D.P., Richter D., Tittel F.K., Curl R.F. Ammonia detection by use of near-infrared diode-laser-based overtone spectroscopy, *Applied Optics*, 40, pp. 3487-4394, 2001.
- [7] Dhaliwal, K., Department of Medicine, Southern Illinois University School of Medicine, case study, <http://www.thoracic.org/professionals/clinical-resources/environmental-and-occupational/clinical-cases/pages/case3.php>
- [8] Durbin T.D., Wilson R.D., Norbeck J.M., Miller J.W., Huai T., Rhee S.H. Estimates of the emission rates of ammonia from light-duty vehicles using standard chassis dynamometer test cycles, *Atmospheric Environment*, 36, pp. 1475-1482, 2002.
- [9] Erisman, J.W., Mark, A. Sutton, M.A., James, Galloway J., Zbigniew Klimont Z., Wilfried Winiwarter W., How a century of ammonia synthesis changed the world, *Nature Geoscience*, 636–639, 2008.
- [10] Fehér M., Martin P.A., Rohrbacher A., Soliva A.M., Maier J.P. Inexpensive near-infrared diode-laser-based detection system for ammonia, *Applied Optics*, 32, pp. 2028-2030, 1993.
- [11] <file:///C:/Documents%20and%20Settings/XP%20PRO/My%20Documents/Downloads/806474.pdf>
- [12] Fuerte A., Valenzuela R.X., Escudero M.J., Daza L. Ammonia as efficient fuel for SOFCA., *Journal of Power Sources*, 192, pp. 170–174, 2009.
- [13] Ganesh R.S., Durgadevic E., Navaneethanb M., Patild V.L., Ponnusamyb S., Muthamizhchelvanb C., Kawasakie S., Patild P.S., Hayakawa Y. Controlled synthesis of Ni-doped ZnO hexagonal microdiscs and their gas sensing properties at low temperature, *Chemical Physics Letters*, pp. 92-99, 2017.
- [14] Hejze T., Besenhard J.O., Kordesch K., Cifrain M., Aronsson R.R. Current status of combined systems using alkaline fuel cells and ammonia as a hydrogen carrier, *Journal of Power Sources*, pp. 490-493, 2008.
- [15] <http://archive.indianexpress.com/news/blast-at-vatva-ammonia-plant-kills-one/604942/>
- [16] <https://www.chron.com/news/houston-texas/houston/article/In-1976-an-ammonia-truck-disaster-claimed-the-12906732.php#photo-1207990>
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Texas\\_City\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_disaster)
- [18] <https://www.firehouse.com/rescue/hazardous-materials/article/12306150/lessons-learned-from-anhydrous-ammonia-incident>
- [19] <https://www.bbc.com/news/uk-england-northamptonshire-45836240>



- [20] [http://www.china.org.cn/photos/2013-09/01/content\\_29887592\\_7.htm](http://www.china.org.cn/photos/2013-09/01/content_29887592_7.htm)
- [21] <https://www.youtube.com/watch?v=1ReAjMhCeu0>
- [22] [https://www.technicalsaftybc.ca/sites/default/files/2018-07/FaultTrees/TSBC\\_257671\\_InvestigationReport\\_v14\\_online.pdf](https://www.technicalsaftybc.ca/sites/default/files/2018-07/FaultTrees/TSBC_257671_InvestigationReport_v14_online.pdf)
- [23] <https://www.usgs.gov/>
- [24] <https://www.cheminst.ca/magazine/article/the-big-chill/>
- [25] <http://dramarnathgiri.blogspot.rs/2013/11/adult-male-chemical-burn-to-body.html>
- [26] <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/1999/em/a904846d?page=search>
- [27] [https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files\\_mf/A3485\\_ips03485\\_002.pdf](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/A3485_ips03485_002.pdf)
- [28] <https://scienceblog.eumetsat.int/2018/12/industrial-and-agricultural-ammonia-point-sources-exposed/>
- [29] <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/inline-files/nh3inpropanetanks.pdf>
- [30] <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/PAB0702.pdf>
- [31] <https://www.technicalsaftybc> <https://www.sciencephoto.com/search>
- [32] <https://pulmonarychronicles.com/index.php/pulmonarychronicles/article/view/397/864>
- [33] <https://www.juznevesti.com/Drushtvo/Amonijak-opasan-gas-cisterne-iz-Jasenovika-bezbedno-ukloniti.sr.html>
- [34] Janković Z., Razvoj modela za proračun rizika u logističkim sistemima opasnih materija, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2016.
- [35] Kobayashi H., Hayakawa A., Kunkuma K. D., Somarathne A., Okafor E.C. Science and technology of ammonia combustion, Proceedings of the Combustion Institute, Volume 37, Issue 1, pp. 109-133, 2019.
- [36] Kosenko E., Venediktova N., Kaminsky Y., Montoliu C., Felipe V., Sources of oxygen radicals in brain in acute ammonia intoxication in vivo, Brain Research, 981, pp. 193–200, 2003.
- [37] Krupa S.V., Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review, Environmental Pollution, 124, pp179-221, 2003.
- [38] Kulandaisamy A.J., Reddy J.R., Srinivasan P., Babu J., Mani G.K., Shankar P., Bosco J., Rayappan B., Room temperature ammonia sensing properties of ZnO thin films grown by spray pyrolysis: Effect of Mg doping, Journal of Alloys and Compounds, Volume 688, Part A, pp. 422-429, 2016.
- [39] Luo M., Guo J.Y., Cao W.K. Inflammation: A novel target of current therapies for hepatic encephalopathy in liver cirrhosis, World Journal of Gastroenterology, 21, pp. 11815–11824, 2015.
- [40] Malins C., Doyle A., MacCraith B.D., Kvasnik F., Landl M., Šimon P., Kalvoda L., Lukaš R., Pufler K., Babusik I., Personal ammonia sensor for industrial environments, pp. 417-422, 1999.
- [41] Manchester K.L. Man of destiny: the life and work of Fritz Haber, Endavour, 26, pp. 64-69, 2002.
- [42] Mani G.K., Bosco J, Selective detection of ammonia using spray pyrolysis deposited pure and nickel doped ZnO thin films, applied Surface Science, pp. 405-412, 2014.
- [43] Mani G.K., Rayappan J.B.B., Selective detection of ammonia using spraypyrolysis deposited pure and nickel doped ZnO thin films, Applied Surface Science, 311, pp. 405–412, 2014.
- [44] Millea T.P, Kucan J.O., Smoot E.C. Anhydrous Ammonia injuries, Journal of Burn Care and Rehabilitaiton, 10, pp. 448-453, 1989.
- [45] Miller, S., A production of amino acids under possible primitive earth conditions, Science, 117, pp. 528-529, 1953.

- [46] Miller, S., Urey H. Organic compound synthesis on the primitive earth, *Science*, 130, 245-251, 1959.
- [47] Moos R., Müller R., Plog C., Knezevic A., Leye H., Irion E., Braun T., Marquardt K.J., Binder K. Selective ammonia exhaust gas sensor for automotive applications, *Sensors and Actuators B*, 83, pp. 181-189, 2002.
- [48] Mount, G.H., Rumburg, B, Havig, J., Lamb, B., Westberg, H., Yonge, D., Johnson, K., Kincaid R., Measurement of atmospheric ammonia at a dairy using differential optical absorption spectroscopy in the mid-ultraviolet, *Atmospheric Environment*, 36, pp. 1799-1810, 2002.
- [49] Nanto H., Minami T., Takata S. Zinc oxide thin film ammonia gas sensors with high sensitivity and excellent selectivity, *Journal of Applied Physics*, 60, pp. 482, 1986.
- [50] Ni M., Leung M.K.H., Leung D.Y.C. Ammonia-fed solid oxide fuel cells for power generation—A review, *Energy Research*, pp. 943-959, 2009.
- [51] Oudendag, D.A., Luesink, H.H., The manure model: manure, minerals (N, P and K), ammonia emission, heavy metals and use of fertiliser in Dutch agriculture, *Environmental Pollution*, 102, pp. 241-246, 1998.
- [52] Patil D.R., Patil L.A., Patil P.P., Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-activated ZnO thick film resistors for ammonia gas sensing operable at room temperature, *Sens. Actuators B chem.*, 126, pp. 368–374, 2007.
- [53] Patil S.L., Chougule M.A., Sen S., Patil V.B., Measurements on room temperature gas sensing properties of CSA doped polyaniline – ZnO nanocomposites, *Measurement* 45, pp. 243–249, 2012.
- [54] Pejin R., Popović Đ., Tanackov I., Bjelica A., Tomić-Naglić D., Jovanović A., Stokić E. The synergistic action of antioxidative enzymes – correlations of catalase and superoxide dismutase in the development and during the treatment of type 2 diabetes, *Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo*, 147, pp. 286-294, 2019.
- [55] Phan, N-T., Kim, K-H., Shon, Z-H., Jeon, E-C., Jung, K., Kim, N-J., Analysis of ammonia variation in the urban atmosphere, *Atmospheric Environment* 65, pp. 177-185, 2013.
- [56] Sanfourche, J.P., Eumetsat, *Air and Space Europe*, 2(1), pp. 120-122, 2000.
- [57] Sberveglieri G., Recent developments in semiconducting thin-film gas sensors, *Sensors and Actuators B*, 23, pp. 103-109, 1995.
- [58] Slot G.M.J., Ammonia gas burns; an account of six cases, *Lancet*, 2, pp. 1356-1357, 1938.
- [59] Sobonya R., Fatal anhydrous ammonia inhalation. *Human Pathology*, 8, pp. 293–299, 1977.
- [60] Soumen D., Jayarama V. SnO<sub>2</sub>: A comprehensive review on structures and gas sensors, *Progress in Materials Science*, 66, pp. 112–255, 2014.
- [61] Stuhlmann, R., Rodriguez, A., Tjemkes, S., Grandell, J., Arriaga, A., Bézy J-L., Aminou, D., Bensi, P., Plans for EUMETSAT's Third Generation Meteosat geostationary satellite programme, *Advances in Space Research*, 36(5), pp. 975-891, 2005.
- [62] Tan, W., Du, H., Liu, L., Su, T., Liu, X., Experimental and numerical study of ammonia leakage and dispersion in a food factory, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 47, pp. 129-139, pp. 2017.
- [63] Tarwal N.L., Patil A.R., Harale N.S., Rajgure A.V., Suryavanshi S.S., Bae W.R., Patil P.S., Kim J.H., Jang J.H. Gas sensing performance of the spray deposited Cd-ZnO thin films, *Journal of Alloys and Compounds*, 598 pp. 282–288, 2014.
- [64] The “Volcanoes” of Midwestern Venezuela, Chapter 23, *Coal and Peat Fires: A Global Perspective, Case Studies – Coal Fires*, Elsevier, pp. 609-632, 2015.

- [65] Timmer B., Olthuis W., Van den Berg A. Ammonia sensors and their applications - a review, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 107, pp. 666-677, 2005.
- [66] Xuan X., Yue C., Li S., Yao Q. Selective catalytic reduction of NO by ammonia with fly ash catalyst, *Fuel*, 82, pp. 575-579, 2003.
- [67] Wallin M., Karlsson C.J., Skoglundh M., Palmqvist A. Selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> with NH<sub>3</sub> over zeolite H-ZSM-5: influence of transient ammonia supply, *Journal of Catalysis*, 218, pp. 354-364, 2003.

## **5. RAZVOJ I TESTIRANJE MODELA ZA PROCENU RIZIKA AMONIJAKA U LOGISTIČKIM PODSISTEMIMA**

U dosadašnjim istraživanjima je razmatran rizik za svaki logistički podsistem izabrane opasne materije isključivo na kvalitativnom nivou. To je sprovedeno 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. U doktorskoj disertaciji procena rizika za opasnu materiju amonijak je usmerena ka kvantitativnom istraživanju rizika, u smislu procene broja fatalnih ishoda i povređenih.

Kao referentne baze podataka o akcidentima sa opasnim materijama, za istraživanje u disertaciji su korišćene: baza podataka FACTS - informacioni sistem za tehničke otkaze i akcidente [1] i baza podataka OSHA - podaci uprave za zaštitu na radu [2].

Baza podataka FACTS je referenta baza za kvalitativnu analizu rizika od opasne materije amonijak. Sadrži podatke o broju povređenih i broju fatalnih ishoda za svaki od 814 analiziranih akcidenata. Kvalitativne posledice akcidenata imaju i svoju kvantitativnu dimenziju. Ograničenje baze podataka FACTS je da raspoloživi podaci o akcidentima nisu dovoljni, samim tim i merodavni, za kvantitativnu analizu broja nastradalih po akcidentu.

Zbog navedenih razloga, referentna baza podataka za procenu kvantitativnih rizika od opasne materije amonijak je baza podataka OSHA. Ona raspolaže sa ukupno 295 akcidenata sa opasnom materijom amonijak koji su evidentirani u periodu od 1985. do 2015. godine. U prilogu disertacije su tabelarno prikazani uređeni numerički podaci o akcidentima koji su korišćeni za istraživanje. Predstavljena je baza akcidenata sa amonijakom i raspodela po logističkim podsistemima, tipu posledice (nehospitalizovani, hospitalizovani preživeli, hospitalizovani preminuli i nastradali), mesecima i posledicama delovanja amonijaka (respiratno-toksične, smrzotine, požar i opekotine, povrede nastale od dejstva eksplozija). Ograničenje za korišćenje baze podataka OSHA je manji broj evidentiranih akcidenata sa amonijakom u odnosu na podatke iz baze Tehnički informacioni sistem za otkaze i akcidente, ali su navedeni podaci merodavni za predmetno istraživanje, a to je kvantitativna procena rizika od date opasne materije.

## 5.1. KVALITATIVNA ISTRAŽIVANJA RIZIKA OD AMONIJAKA

Baza podataka FACTS broji ukupno 1155 akcidenata sa amonijakom (slika 36). Ovaj broj akcidenata obuhvata i druge opasne materije koje u svom nazivu imaju reč amonijak (npr. đubriva, amonijačni rastvor). Za kvalitativnu analizu rizika od amonijaka statistički su obrađeni bazni amonijak i bezvodni amonijak.

The screenshot shows the FACTS website interface. At the top, there is a navigation menu with links: Home, Browse database, Free examples, Contact us, and Login. Below the menu is a banner with the FACTS logo and the text 'HAZARDOUS MATERIALS ACCIDENTS KNOWLEDGE BASE'. The main content area is titled 'Browse chemical accidents in database'. It features a search bar with the text 'ammonia' and a 'Search' button. Below the search bar, it indicates 'Accidents found : 1155'. A table displays the search results with columns for Nr, Year, Country, Activity, Location, Fatalis, and Injurs. The table lists various accidents, such as 'PROCESSING' at a 'CHEMICAL FACTORY' in 2008, and 'STORAGE' at a 'STORAGE/DEPOT' in 2008. The bottom of the table shows 'Total accidents in database : 26509'.

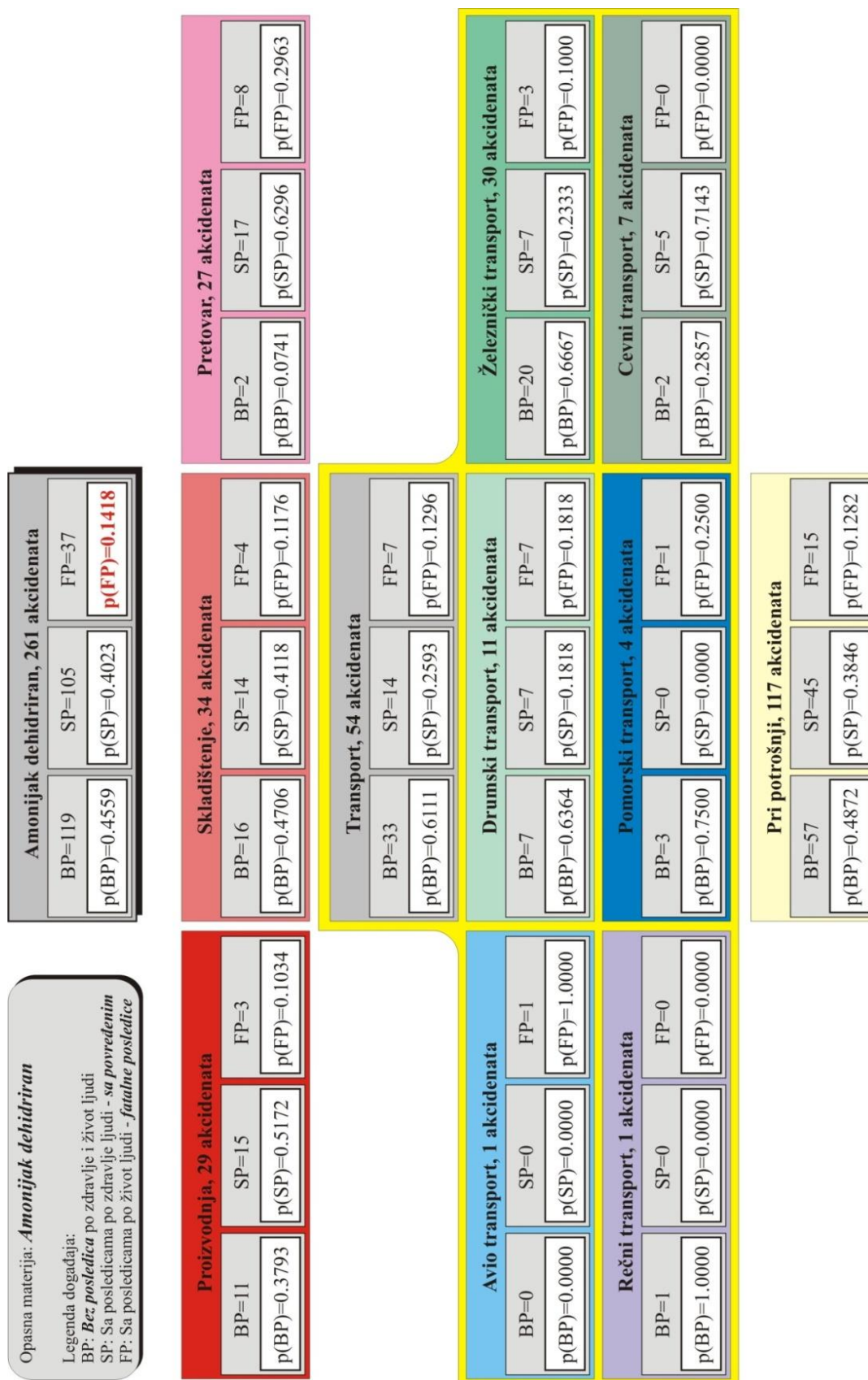
Nr	Year	Country	Activity	Location	Fatalis	Injurs
23768	2008	N	PROCESSING	CHEMICAL FACTORY		+
23656	2008	CDN	STORAGE	STORAGE/DEPOT		
23306	2008	CN	PROCESSING	CHEMICAL FACTORY		
23305	2008	BG	STORAGE	STORAGE/DEPOT		+
23143	2008	D	USE/APPLICATION	FACTORY		+
23111	2008	NZ	USE/APPLICATION	FACTORY		+
23071	2008	B	PIPETRANSPORT	PIPECORRIDOR		
23004	2008	USA	STORAGE	TANKYARD/TANK FARM		+
22954	2008	CN	PROCESSING	CHEMICAL FACTORY		+
22906	2008	USA	PROCESSING	CHEMICAL FACTORY		+
22727	2008	USA	USE/APPLICATION	FACTORY		
22720	2008	NL	USE/APPLICATION	FARM		+
22700	2008	I	TRANSHIPMENT	ICERINK		+
23211	2007	USA	PROCESSING	CHEMICAL FACTORY		
22829	2007	USA	RAILTRANSPORT	RAILWAY		
22801	2007	USA	PROCESSING	REFINERY		+
22634	2007	CN	PROCESSING	CHEMICAL FACTORY		+
22627	2007	USA	STORAGE	REFINERY		
22532	2007	USA	TRANSHIPMENT	RAILYARD		
22448	2007	USA	USE/APPLICATION	FACTORY		+

Slika 36. Baza FACTS sa akcidentima opasne materije amonijak [1]

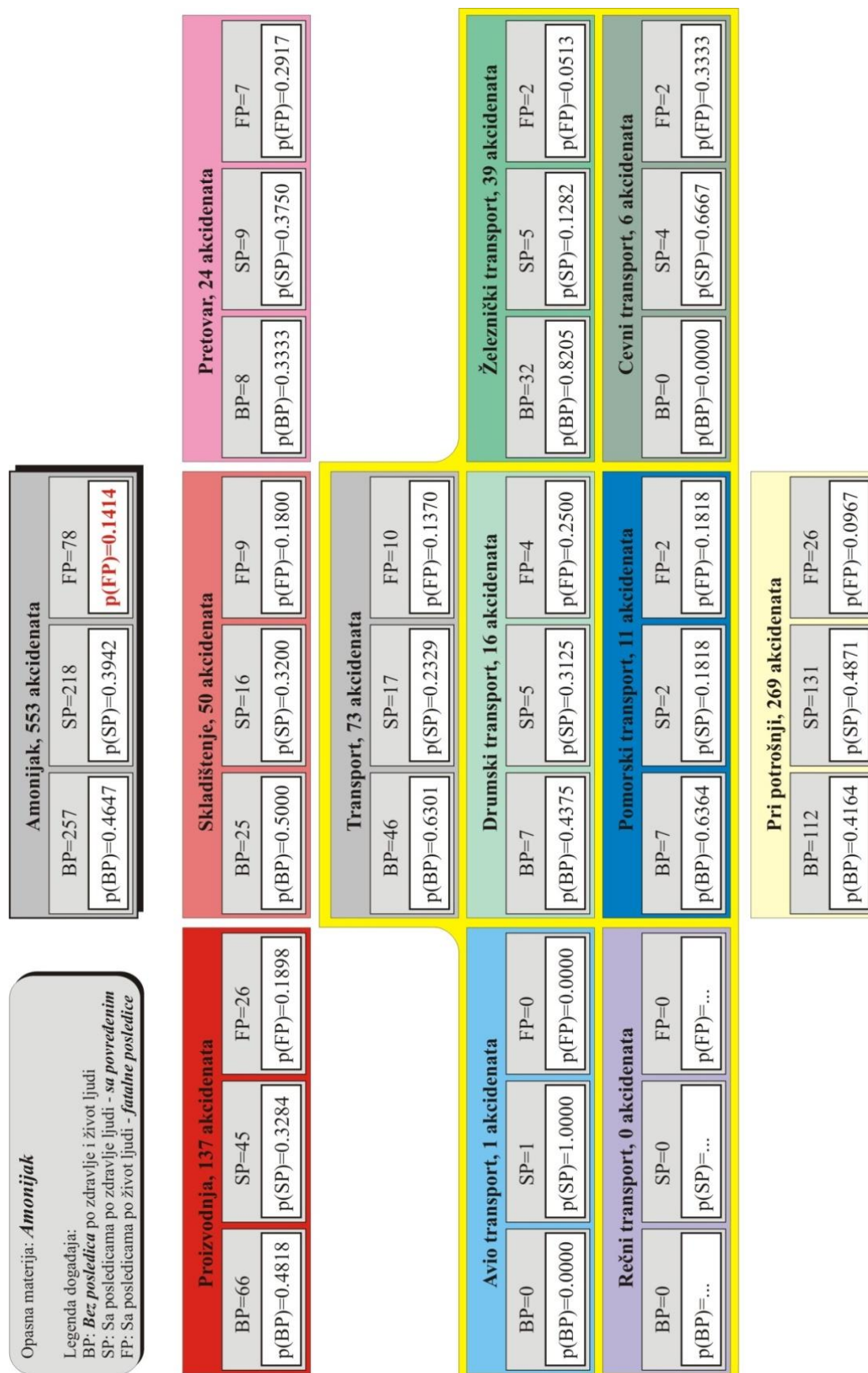
Komparacija u skupu od 19 opasnih materija koje obuhvataju više od 90% svetske proizvodnje svih opasnih materija (eksploziv, kiseonik, metan, poliuretan, pogonski benzin, fluorovodonična kiselina, metanol, tečni nafni gas, vodonik, prirodni gas, etanol, dizel gorivo, amonijak bezvodni, amonijak, sumporna kiselina, zemno ulje, hlor, azotna kiselina, hlorovodonična kiselina) i pri analizi 9467 akcidenata, svrstala je amonijak u relativno bezbedne opasne materije, sa pozicijom na 14-tom mestu i verovatnoćom od fatalnog ishoda po akcidentu od  $p = 0,1414$  [34].

Analiza rizika navedenih opasnih materija je imala isključivo kvalitativni karakter. Dokazane su signifikantne razlike u raspodelama rizika svih navedenih opasnih materija po podsistemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe. Iako je rizik od fatalnih ishoda opasne materije amonijak bio tek na 14-tom mestu, karakteristična je bila signifikantna i singularna dominacija amonijaka u logističkom podsistemu pretovara. Za utvrđivanje ovog uzroka, neophodno je primeniti kvantitativnu analizu.

Kvalitativna raspodela rizika u logističkim sistemima od opasne materije amonijak je obrađena u radu [34]. Za 814 akcidenata sa amonijakom, od toga 261 akcidenat sa bezvodnim (slika 37) i 553 sa baznim amonijakom (slika 38), saglasno bazi FACTS, utvrđeni su nivoi rizika za accidente bez posledica (bez hospitalizacija povređenih radnika), sa posledicama (obavezna hospitalizacija bar jednog povređenog radnika sa pozitivnim ishodima svih povređenih hospitalizovanih radnika) i sa fatalnim posledicama (u akcidentu je nastradao bar jedan radnik zahvaćen akcidentom ili je tokom obavezne hospitalizacije povređenih radnika barem jedan preminuo).



Slika 37. Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsystemima za opasnu materiju amonijak bezvodni [3]

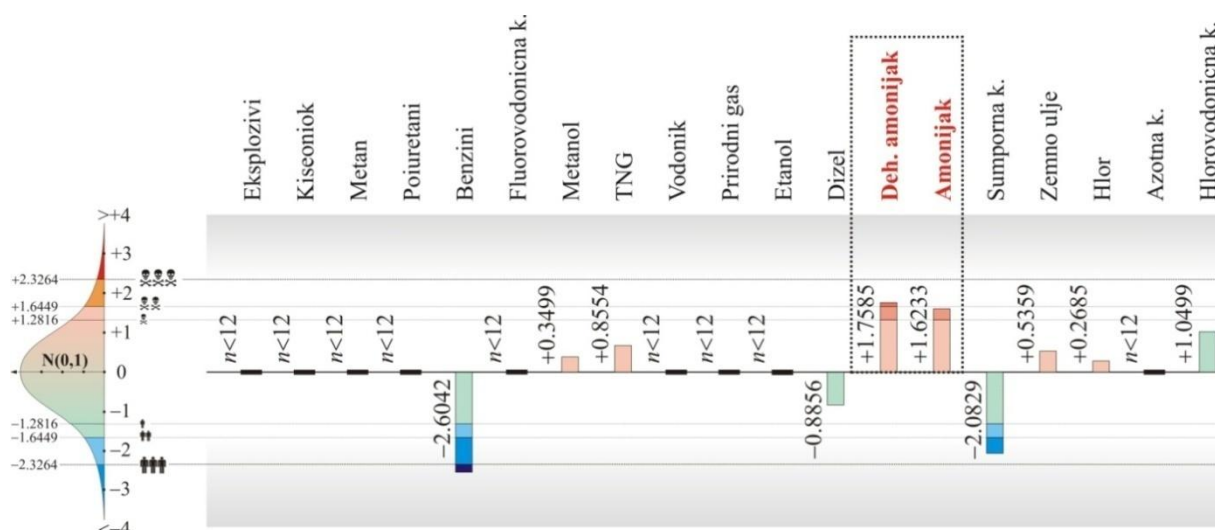


Slika 38. Raspodela akcidenata po posledicama i logističkim podsystemima za opasnu materiju klasičan amonijak [3]



Tokom kvalitativnih istraživanja rizika od amonijaka, koja nisu obuhvatila prosečan broj radnika po akcidentu i njihovu raspodelu po posledicama, ustanovljen je rizik od fatalnih posledica od  $p = 0,1418$  za bezvodni amonijak i  $p = 0,1414$  za bazni amonijak. Međutim, parcijalni rizik od fatalnih posledica u logističkom podsistemu pretovara je parcijalno bio značajno veći od rezultatnog rizika za sve logističke sisteme i iznosio je  $p = 0,2963$  za bezvodni amonijak i  $p = 0,2917$  za klasičan amonijak.

Analizom raspodele kvalitativnih rizika od opasnih materija u logističkom podsistemu pretovara, ustanovljeno je da u skupu od 19 opasnih materija jedino bezvodni amonijak i klasičan amonijak imaju signifikantan rizik (slika 39), bezvodni amonijak sa pragom značajnosti od  $p = 0,95$  i klasičan amonijak sa pragom značajnosti  $p = 0,90$ .

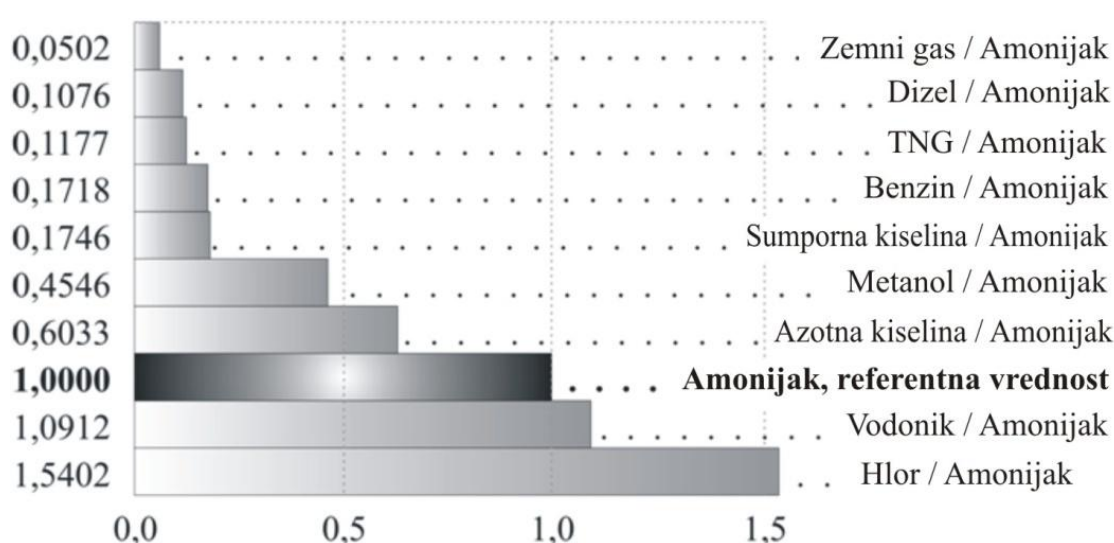


Slika 39. Raspodela kvalitativnog rizika od određenih opasnih materija u logističkom podsistemu pretovara

Ustanovljeni signifikantni rizici nisu bili obrazloženi u prethodnim istraživanjima. Zbog toga je i istraživanje kvantitativnog rizika nametnulo imperativnu hipotezu o njegovoj karakterističnoj raspodeli rizika u logističkim podsistemima.

## 5.2. KOMPARATIVNA ANALIZA RIZIKA OD AMONIJAKA SA POJEDINIM OPASNIM MATERIJAMA

Na osnovu dostupnih podataka iz baze FACTS [1] i svetskog obima proizvodnje u periodu 1980-2015. godina, proračunat je odnos rizika akcidenta po proizvedenoj toni (akc/t) za opasne materije kod kojih se preciznije mogao odrediti godišnji obim proizvodnje. Ako se za referentnu vrednost usvoji rizik akcidenta amonijaka, dobijaju se sledeći odnosi rizika sa navedenim opasnim materijama (slika 40).



Slika 40. Odnosi rizika amonijaka sa datim opasnim materijama

Dominaciju u svetskom obimu proizvodnje opasnih materija zauzimaju energenti: zemno ulje, derivati i prirodni gas. Posle navedenih energenata, dva kvantitativno najzastupljenija jedinjenja u svetskoj proizvodnji su sumporna kiselina sa oko 290.000.000 tona/godini i amonijak oko 140.000.000 tona/godini. Zbog toga je interesantna visoka pozicija amonijaka sa rizikom koji je i do nekoliko desetina puta veći od rizika energenata.

Proračun rizika sa amonijakom zasnovan je na 841 akcidentu koji su do 2016. godine evidentirani na osnovu dostupnih baza podataka i zvanično objavljenih izveštaja. Države iz kojih su evidentirani podaci do 2016. godine, imaju kumulativnu proizvodnju amonijaka od  $91,4 \cdot 10^6$  tona (65,28% svetske proizvodnje), što daje količnik rizika pojave akcidenta amonijaka od  $r = 2,8336 \cdot 10^{-6}$  akc/t.

Podaci o akcidentima su evidentirani većim delom iz razvijenijih zemalja kod kojih je rizik od akcidenata dokazano manji nego u slabije razvijenijim zemljama [2]. Upotrebljeni podaci o broju akcidenata iz Kine se moraju uzeti sa rezervom.

U uzorku nedostaju podaci o akcidentima velikih proizvođača amonijaka kao što su Indija, Indonezija, Trinidad i Tobago, Saudijska Arabija, Katar, itd. Zbog toga se ustanovljena vrednost od  $r = 2,8336 \cdot 10^{-6}$  akc/tona može deklarirati kao minimalna estimacija rizika, koja za obim proizvodnje od  $140 \cdot 10^6$  t u svetu inicira pojavu oko 400 akcidenata amonijaka godišnje u svim logističkim podsistemima.

Analiza podataka iz baze OSHA u periodu od 1985. do 2015. godine omogućila je osnovu za kvantitativnu komparaciju rizika. Analizom su obuhvaćene sledeće opasne materije: azotna kiselina, sumporna kiselina, amonijak, benzin i prirodni gas. Rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Srednje vrednosti nehospitalizovanih, hospitalizovanih (preživelih i preminulih) i srednji broj nastradalih u akcidentima za navedene opasne materije

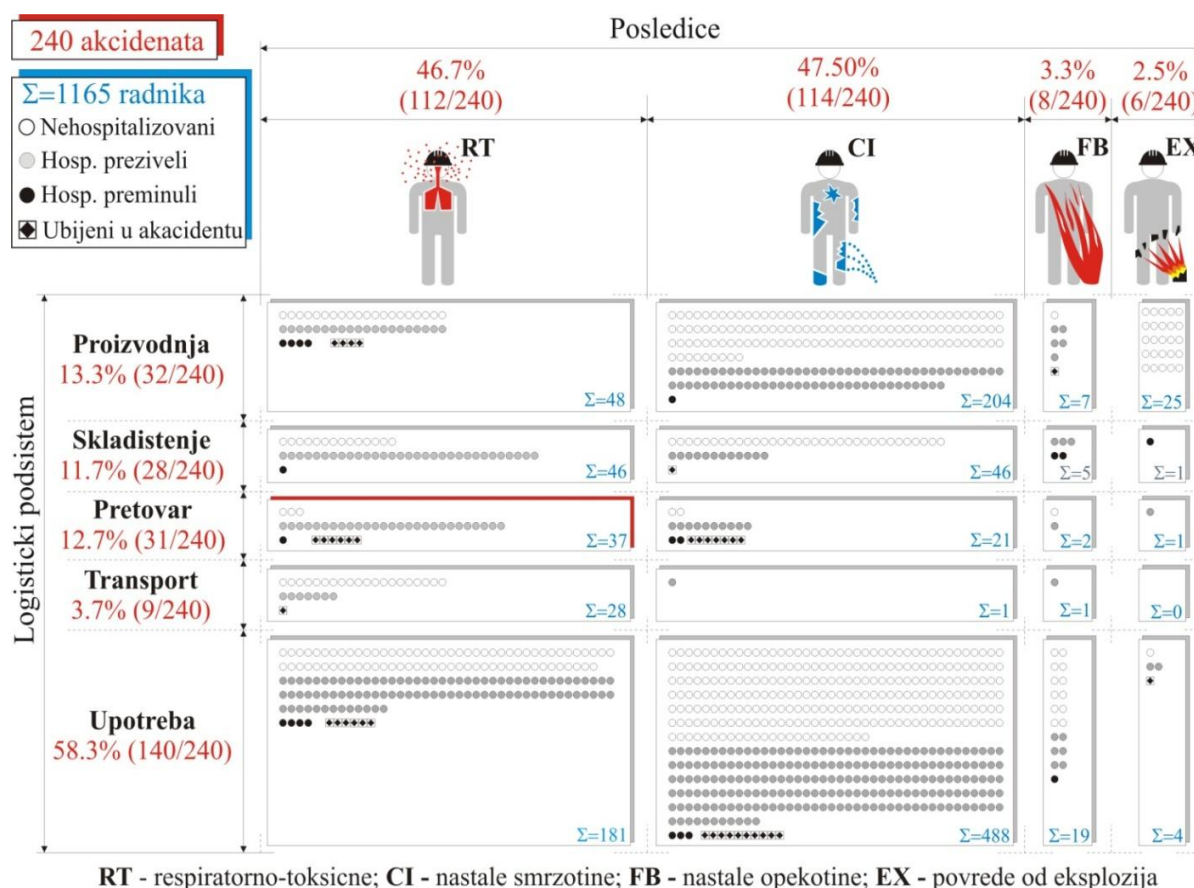
Opasne materije	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali	Σ
		Preživeli	Preminuli		
Azotna kiselina	1,3913	2,0000	0,0217	0,1087	3,5217
Sumporna kiselina	1,1875	1,4375	0,0625	0,1563	2,8438
Amonijak	2,5125	2,1000	0,0792	0,1625	4,8542
Benzin	0,1435	0,6172	0,1340	0,2488	1,1435
Prirodni gas	0,1429	1,0071	0,1500	0,5214	1,8214

Kod amonijaka je ustanovljeno učešće najvećeg srednjeg broja radnika i trećih lica u akcidentima - prosečno 4,8542. Međutim, u fatalnim ishodima je uočena dominacija izabranih energenata, posebno prirodnog gasa sa srednjim brojem nastradalih radnika i trećih lica od prosečno 0,5214 po akcidentu. Pored navedenog visokog rizika od pojave akcidenta amonijaka, preko 50% radnika i trećih lica iz akcidenta sa amonijakom izlazi bez potrebe za hospitalizacijom. Sve ostale navedene opasne materije su ispod 50% ovog odnosa, a kod prirodnog gasa svega 7%. Procenat preživljavanja hospitalizacije posle akcidenta sa amonijakom iznosi 95,02%, za prirodni gas je 87,04%, a za benzin je 82,16%.

### 5.3. OSNOVNE PARAMETARSKE I NEPARAMETARSKE STATISTIČKE KARAKTERISTIKE AKCIDENATA SA AMONIJKOM

Za procenu kvantitavnih rizika od opasne materije amonijak korišćeni su podaci dobijeni iz baze podataka OSHA, akcidenti evidentirani u periodu od 1985. do 2015. godine [2]. Analiziran je uzorak od 295 akциденata sa opasnom materijom amonijak.

Grafička raspodela akциденata sa posledicama po radnike ili treća lica i lokaciji u logističkom sistemu je prikazana na slici 41.



Slika 41. Grafička raspodela akциденata po logističkoj lokaciji i posledicama

Analizom raspoloživih podataka iz baze OSHA, u 55 akциденata sa amonijakom nije bilo posledica po radnike ili treća lica, dok preostalih 240 akциденata je izazvalo određene posledice.

Raspodela akcidenata sa amonijakom po tipu posledica je:

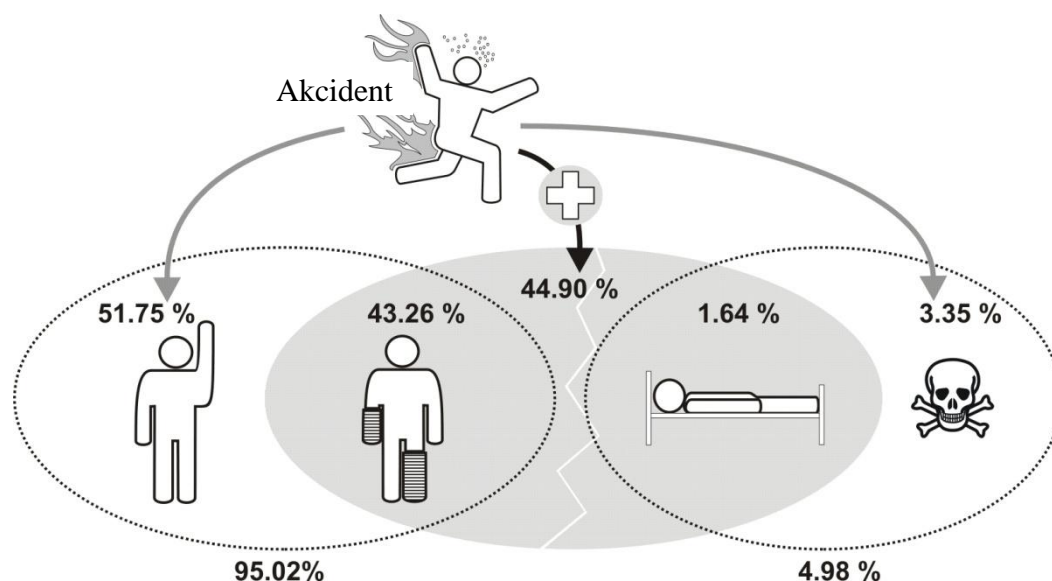
- 120 od 295 akcidenata (40,67%) je realizovano bez ugrožavanja života i zdravlja radnika i trećih lica, bez povreda ili sa lakim povredama koje su zahtevale medicinsku procenu i nisu zahtevale hospitalizaciju ili su lake povrede sanirane ambulantno.
- 127 od 295 akcidenata (43,06%) je ugrozilo zdravlje učesnika akcidenta i zahtevalo obaveznu hospitalizaciju,
- 48 od 295 akcidenata (16,27%) je ugrozilo život radnika ili trećih lica. Fatalni ishodi su nastali tokom perioda hospitalizacije ili instantno, radnici su preminuli tokom akcidenta.

Dobijeni kvantitavni rezultati uzorka od 295 akcidenata su saglasni sa analizom posledica na uzorku od 533 akcidenta iz baze FACTS (samo bazni amonijak), koji respektivno iznose 46,47%, 39,42% i 14,14%. Diferencijacija testa proporcije je pokazala visoku saglasnost za nehospitalizovane ( $p = 0,2961$ ), hospitalizovane ( $p = 0,5154$ ) i fatalne ishode ( $p = 0,4162$ ). Uzorak možemo smatrati reprezentativnim.

U kvantitativnoj analizi u 240 akcidenata je obuhvaćeno 1165 radnika i trećih lica kojima je bila neophodna procena zdravstvenog statusa nakon učešća u akcidentu, od kojih:

- kod 603 radnika (51,75%) posle lekarskog pregleda i medicinskog tretmana nije ustanovljena potreba za hospitalizacijom.
- 523 radnika (44,90%) je zbog posledica povreda u akcidentu bila hospitalizovana, a od toga je 504 radnika ili 43,26% je preživelo hospitalizaciju, a 19 radnika ili 1,64% preminulo tokom hospitalizacije. Podaci o stepenu invaliditeta preživelih hospitalizovanih radnika nije bio dostupan.
- 39 radnika (3,35%) je nastradalo u akcidentu.

Na slici 42 je dat grafički prikaz raspodela posledica akcidenata sa amonijakom. Konačan ishod 240 akcidenata opasne materije amonijak sa evidentiranim učesnicima rezultira sa 95,02% preživelih i 4,98% preminulih učesnika akcidenta.



Slika 42. Grafički prikaz raspodela nehospitalizovanih, hospitalizovanih preživeli, hospitalizovanih preminulih i nastradalih u akcidentima sa opasnom materijom amonijak

U tabeli 4 su dati osnovni parametri navedenih slučajnih promenljivih neophodnih za analizu i pristup verifikaciji neparametarskih karakteristika.

Tabela 4. Osnovni parametri raspodela 1165 radnika u 240 akcidenata sa amonijakom

Parametar	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali
		Preživeli	Preminuli	
Srednja vrednost	2,5125	2,2100	0,0791	0,1625
Stand. devijacija	5,5304	4,0887	0,2856	0,4782
Medijana	0	1	0	0
Moda	0	0	0	0
Frekvencija mode	126	102	222	209
Minimum	0	0	0	0
Maksimum	41	29	2	4
Asimetrija	3,9065	3,3512	3,6674	3,9084

Neparametarske karakteristike statističkih skupova nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih tokom hospitalizacije i nastradalih učesnika akcidenta opasne materije amonijak, iako celobrojne slučajne promenljive, većinom su verifikovane kao neprekidne (tri od četiri), a samo u jednom slučaju kao diskretna slučajna promenljiva.

Analizom parametara i oblikom histograma raspodele povređenih nehospitalizovanih učesnika akcidenta opasne materije amonijak, pretpostavljena je Vejbulova dvoparametarska raspodela sa parametrima  $a$  i  $b$ . Gustina verovatnoće i funkcija verovatnoće Vejbulove dvoparametarske raspodele su dati sa (1):

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a}, \quad F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a} \quad (1)$$

Momenat reda „ $r$ “ Vejbulove dvoparametarske raspodele je dat sa (2):

$$\mu = b^r \Gamma\left(1 + \frac{r}{a}\right) \quad (2)$$

Srednja vrednost i standardna devijacija dvoparametarske Vejbulove raspodele su (3):

$$\mu = b \Gamma\left(1 + \frac{1}{a}\right), \quad \sigma = b \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{a}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{a}\right)} \quad (3)$$

Koeficijent asimetrije i ekscesa su (4):

$$k_a = \frac{b^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{a}\right) - 3m_1 \sigma^2 - m_1^3}{\sigma^3}, \quad k_e = \frac{b^4 \Gamma\left(1 + \frac{4}{a}\right) - 3\sigma^4 - 4k_a \sigma^3 m_1 - 6\sigma^2 m_1^2 - m_1^4}{\sigma^4} \quad (4)$$

Za ocene parametara  $a$  i  $b$  metodom maksimalne verodostojnosti primenjuju se obrazci (5):

$$\hat{b} = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k^{\hat{a}}\right)^{\frac{1}{\hat{a}}}, \quad \frac{1}{\hat{a}} = -\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \ln X_k + \frac{\sum_{k=1}^n X_k^{\hat{a}} \ln X_k}{\sum_{k=1}^n X_k^{\hat{a}}} \quad (5)$$

Uslovi verifikacije Vejbulove raspodele su sledeći:

- Celobrojne raspodele su zasnovane na velikim broju nula (moda je za sve promenljive jednaka „0“) pa za ocenu parametara  $a$  i  $b$ , ne može da se primeni metoda maksimalne verodostojnosti za kontinualnu Vejbulovu raspodelu.
- Verifikacija je opterećena visokim koeficijentima ekscesa koji su za nehospitalizovane, hospitalizovane, preminule tokom hospitalizacije i nastradale učesnike akcidenata respektivno dati sa vrednostima: 18,4304; 13,5579; 13,6263; 20,4454.
- Količnici standardne devijacije i srednje vrednosti (koeficijent varijacije) za nehospitalizovane, hospitalizovane, preminule tokom hospitalizacije i nastradale učesnike akcidenata su respektivno dati sa vrednostima: 2,2073; 1,9460; 3,6076; 2,9430.
- Granica izražene pozitivne asimetrije dvoparametarske Vejbulove raspodele je deklarisan sa vrednošću  $k_+ = 3,6$ . Za nehospitalizovane, hospitalizovane, preminule tokom hospitalizacije i nastradale učesnike akcidenata su respektivno dati sa vrednostima: 3,9065; 3,3512; 3,6674; 3,9084. Sve raspodele imaju izraženu asimetriju.

I pored ovih ograničenja primenom estimativnih metoda za parametar  $a = 0,42$  dobija se vrednost parametra  $b = 0,83$ .

Za proračun Gamma funkcije racionalnih vrednosti može se primeniti obrazac (6):

$$\Gamma(n+1) = n! = \prod_{k=1}^{\infty} \left( \frac{k+1}{k} \right)^n \frac{k}{n+k} \quad (6)$$

Srednja vrednost teorijske raspodele nehospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak je bliska statističkoj (7):

$$\mu = 0,83 \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{0,42} \right) = 0,83 \cdot 2,918 = 2,4219 \approx 2,4896 \quad (7)$$



Kako je vrednost (8):

$$\Gamma\left(1 + \frac{2}{0,42}\right) = \Gamma(1 + 4,762) = 80,37 \quad (8)$$

Standardna devijacija raspodele nehospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak jednaka je (9):

$$\sigma = b \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{a}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{a}\right)} = 0,83 \sqrt{80,370 - 8,814} = 7,021 \quad (9)$$

Iako standardna devijacija donekle favorizuje pojavu velikog broja nehospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak i pojačava asimetričnost i koeficijent varijacije,  $\chi^2$  vrednost je jednaka  $\chi^2 = 30,2255$ . Za 41 klasu (maksimalan broj nehospitalizovanih u akcidentu), odabrana raspodela ima dva parametra ( $a$ ,  $b$ ) pa je broj stepeni slobode  $41 - 2 - 1 = 38$ . Najbliža tabelarna vrednost je  $\chi^2_{38,p=0,80} = 30,5370$ . Kako je  $\chi^2 < \chi^2_{38,p=0,80}$  zaključuje se da se raspodela povređenih nehospitalizovanih učesnika akcidenta opasne materije amonijak može verifikovati dvoparametarskom Vejbulovom raspodelom (1) vrednosti parametara  $a = 0,42$ ;  $b = 0,83$ ,  $W(0,42; 0,83)$  sa visokim pragom značajnosti  $p > 0,80$ .

Za hospitalizovane učesnike akcidenta sa opasnom materijom amonijak ustanovljena je Vejbulova raspodela sa parametrima  $W(0,43; 0,74)$ . Srednja vrednost teorijske raspodele nehospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak, je bliska empirijski statističkoj (10):

$$\mu = 0,74 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{0,43}\right) = 0,74 \cdot 2,7555 = 2,0391 \approx 2,0916 \quad (10)$$

Kako je vrednost (11)

$$\Gamma\left(1 + \frac{2}{0,42}\right) = \Gamma(1 + 4,6511) = 66,9204 \quad (11)$$

Standardna devijacija raspodele hospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak jednaka je (12):

$$\sigma = b \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{a}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{a}\right)} = 0,74 \sqrt{66,9204 - 4,1579} = 5,8624 \quad (12)$$

Iako standardna devijacija donekle favorizuje pojavu velikog broja hospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak i pojačava asimetričnost i koeficijent varijacije (kao u slučaju nehospitalizovanih),  $\chi^2$  vrednost je jednaka  $\chi^2 = 36,5864$ . Za 29 klasa (maksimalan broj hospitalizovanih u akcidentu), odabrana raspodela ima dva parametra ( $a, b$ ) pa je broj stepeni slobode  $29 - 2 - 1 = 26$ . Najbliža tabelarna vrednost je  $\chi^2_{38,p=0.05} = 38,885$ . Kako je  $\chi^2 < \chi^2_{26,p=0.05}$  zaključuje se da se raspodela povređenih hospitalizovanih učesnika akcidenta opasne materije amonijak može verifikovati dvoparametarskom Vejbulovom raspodelom (S1) vrednosti parametara  $a = 0,43$ ;  $b = 0,74$  tj.  $W(0,43; 0,74)$  sa pragom značajnosti  $p > 0,05$ .

Raspodela hospitalizovanih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak koji su tokom hospitalizacije preminuli je bila opterećena sa 222 nule u uzorku. Od 240 akcidenata, u 18 akcidenata su hospitalizovani učesnici preminuli, u jednom akcidentu 2 učesnika, u svim ostalim po jedan učesnik. Iako se Bernulijeva raspodela odnosi samo na binarne vrednosti, ipak najbolju aproksimaciju broja pacijenata koji su preminuli tokom hospitalizacije postiže se Bernulijevom raspodelom, sa parametrom  $p$  (13):

$$\mu = p = \frac{18}{240} = 0,075; \quad \sigma = \sqrt{p(1-p)} = 0,2633 \quad (13)$$

$\chi^2$  vrednost za preminule tokom hospitalizacije je jednaka  $\chi^2 = 1,05882$ . Za 3 klase, odabrana raspodela ima jedan parametar pa je broj stepeni slobode 1. Najbliža tabelarna vrednost je  $\chi^2_{1,p=0.30} = 1,074$ . Kako je  $\chi^2 < \chi^2_{1,p=0.30}$  raspodela učesnika akcidenta opasne materije amonijak koji su nastradali može se verifikovati Bernulijevom raspodelom sa pragom značajnosti  $p > 0,30$ . Ipak treba naglasiti da istraživanja broja preminulih kao i pristupne statistike za preminule tokom hospitalizacije nisu u potpunosti tačne. Kod ove grupe učesnika akcidenta i potonjih pacijenata, često nije utvrđen konačan stepen invalidnosti i potencijala preživljavanja. Ustanovljeni su slučajevi pacijenata sa oštećenjima od akcidenta, koji su otpušteni sa bolničkog na kućno lečenje i preminuli posle 60 dana od akcidenta. Zbog toga, verifikacija Bernulijevom raspodelom može da se uslovno prihvati.

Raspodela nastradalih učesnika akcidenta sa opasnom materijom amonijak (koji su preminuli na mestu realizacije akcidenta) je takođe verifikovana dvoparametarskom Vejbulovom raspodelom sa parametrima  $a = 0,71$ ;  $b = 0,20$  koja daje sledeće vrednosti matematičkog očekivanja i standardne devijacije (14, 15):

$$\mu = 0,16 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{0,71}\right) = 0,20 \cdot 1,2490 = 0,2489 \quad (14)$$

$$\sigma = b \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{a}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{a}\right)} = 0,23 \sqrt{4,7903 - 0,06195} = 0,4348 \quad (15)$$

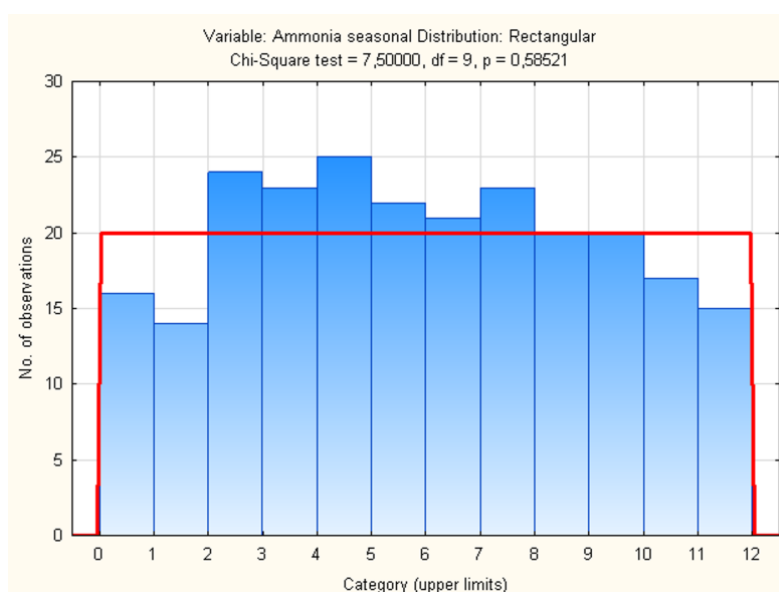
$\chi^2$  vrednost za preminule tokom hospitalizacije je jednaka  $\chi^2 = 2,1571$ . Za 4 klase (maksimalan broj preminulih tokom hospitalizacije je 4), odabrana raspodela ima dva parametra ( $a$ ,  $b$ ) pa je broj stepeni slobode  $4 - 2 - 1 = 26$ . Najbliža tabelarna vrednost je  $\chi^2_{1,p=0.10} = 2,706$ . Kako je  $\chi^2 < \chi^2_{1,p=0.10}$  raspodela učesnika akcidenta opasne materije amonijak koji su nastradali može se verifikovati dvoparametarskom Vejbulovom raspodelom (1) vrednosti parametara  $a = 0,71$ ;  $b = 0,20$  tj.  $W(0,71; 0,23)$  sa pragom značajnosti  $p > 0,10$ . Parametri svih raspodela su dati u tabeli 5.

Tabela 5. Raspodele, parametri i verifikacije raspodela u akcidentima sa amonijakom

Vejbulova raspodela	$a$	$b$	$\mu$	$\sigma$	$\chi^2$	Df.	P
<b>Nehospitalizovani</b>	0,42	0,83	2,4219	7,021	30,2225	38	$p > 0,70$
<b>Hospitalizovani preživeli</b>	0,43	0,74	2,0916	5,8624	36,5864	26	$p > 0,05$
<b>Nastradali</b>	0,67	0,20	0,2489	0,4348	2,1571	1	$p > 0,10$
Bernulijeva raspodela	$p$	$(1-p)$	$\mu$	$\sigma$	$\chi$	Df.	P
<b>Hospitalizovani preminuli</b>	0,0750	0,9250	0,0750	0,2633	1,05882	1	$p > 0,10$

Promena u raspodele je verifikovana samo za hospitalizovane preminule, Bernulijeva naspram Vejbulovih raspodela. Ovakav razvoj verifikacija raspodela se može obrazložiti uticajem intenzivnog medicinskog tretmana. Zbog malog uzorka ( $n = 19$ ) nije verifikovana raspodela vremenskog intervala od akcidenta do fatalnog ishoda tokom hospitalizacije. Srednja vrednost ovog intervala iznosila je 6,56 dana. Podaci o trajanju hospitalizacije za preživele nisu bili dostupni.

Pre uvoda u detaljnu analizu faktora, neophodno je napomenuti da je mogući sezonski uticaj u slučaju amonijaka isključen. Raspodele akcidenata imaju signifikantnu ravnomernu raspodelu  $p = 0,5852$ . Histogram raspodele akcidenata po mesecima i verifikacija su dati na slici 43.



Slika 43. Raspodela akcidenata sa amonijakom po mesecima

## 5.4. RASPODELA I ANALIZA RIZIKA AMONIJAKA PO LOGISTIČKIM PODSISTEMIMA

Raspodela 240 akcidenata amonijaka i 1165 učesnika akcidenata u logističkom sistemu amonijaka po podsistemima je sledeća:

- U proizvodnji 32 akcidenta (13,13%) sa 286 učesnika (24,54%), sa signifikantno proporcionalnim odnosom ( $p = 0,0736$ ),
- U skladištenju 28 akcidenta (11,67%) sa 95 učesnika (8,41%), sa signifikantno proporcionalnim odnosom ( $p = 0,2995$ ),
- U pretovaru 31 akcidenta (12,92%) sa 61 učesnikom (5,23%), sa signifikantno proporcionalnim odnosom ( $p = 0,0971$ ),
- U transportu 9 akcidenata (3,75%) sa 30 učesnika (2,57%), sa signifikantno proporcionalnim odnosom ( $p = 0,4385$ ),
- U upotrebi 140 akcidenta (58,33%) sa 692 učesnika (59,22%), sa signifikantno proporcionalnim odnosom ( $p = 0,4266$ ).

Očigledna statistička dominacija podsistema upotrebe zasnovana je na pojavama akcidenata rashladnih sistema na bazi amonijaka (hladnjače), vanrednim i redovnim servisima rashladnih sistema i upotrebi amonijaka u poljoprivredi. Signifikantno najveći srednji broj radnika po akcidentu sa opasnom materijom amonijak je ustanovljen u podsistemu proizvodnje (tabela 6).

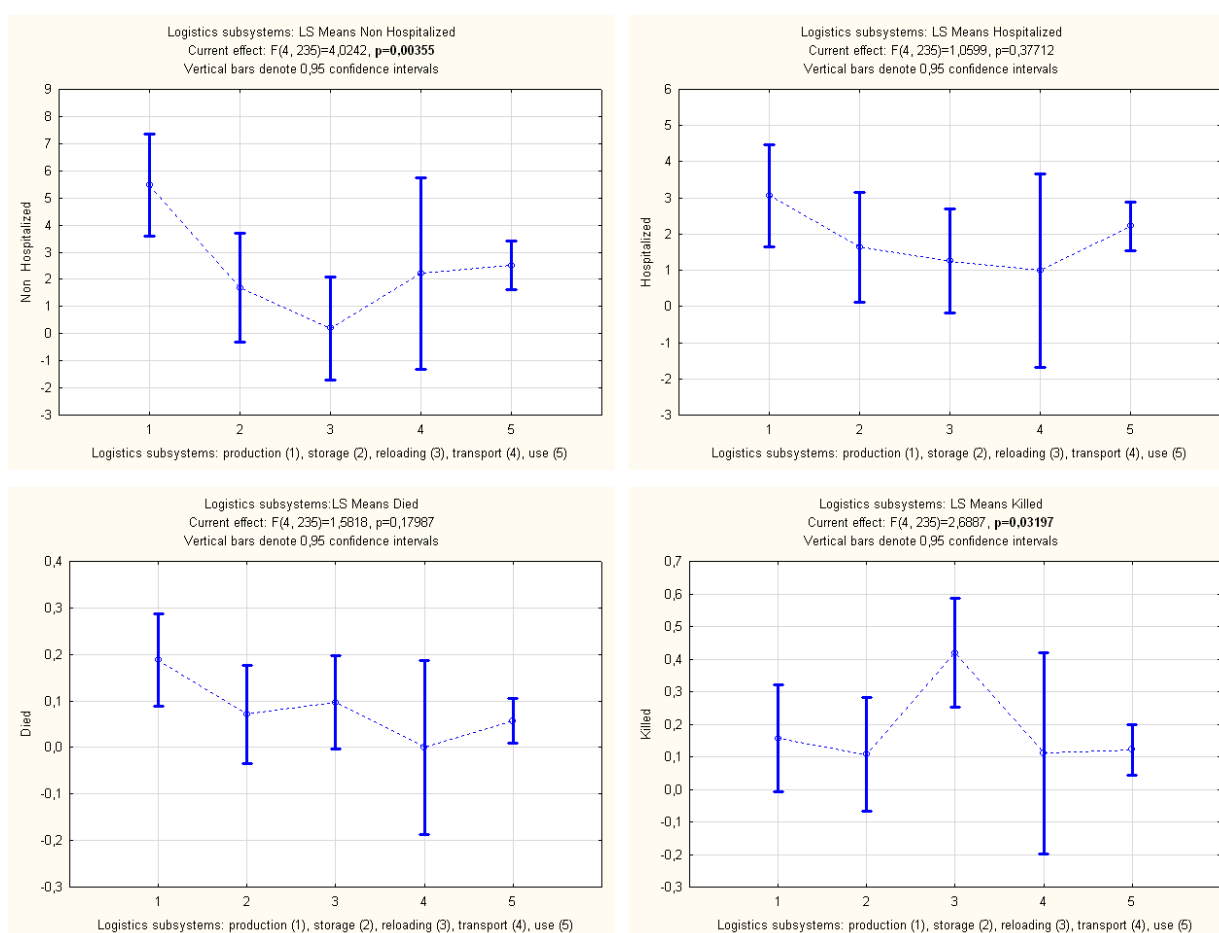
Tabela 6. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja radnika po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak

Podsistem		Proizvodnja	Skladište	Pretovar	Transport	Upotreba
		$\mu_1 = 8,8750^A$	$\mu_2 = 3,5000^B$	$\mu_3 = 1,9677^B$	$\mu_4 = 3,3333^B$	$\mu_5 = 4,9286^B$
1.	Proizvodnja		0,0073	0,0008	0,0070	0,0411
2.	Skladište	0,0073		0,4574	0,9310	0,4536
3.	Pretovar	0,0008	0,4574		0,4781	0,1614
4.	Transport	0,0070	0,9310	0,4781		0,4349
5.	Upotreba	0,0411	0,4536	0,1614	0,4349	

Između vrednosti označenih velikim slovima (A, B) nema značajne razlike prema Dankanovim višestrukim testom poređenja ( $p < 0.05$ ).

## 5. Razvoj i testiranje modela za procenu rizika amonijaka u logističkim podsistemima

Analizom varijanse ispitivan je uticaj logističkog podsistema na srednji broj nehospitalizovanih, hospitalizovanih, umrlih i nastradalih učesnika u akcidentima amonijaka. Ustanovljen je značajan uticaj logističkih podsistema na broj nehospitalizovanih ( $p = 0,0033$ ) i nastradalih ( $p = 0,0319$ ), dok na hospitalizovane ( $p = 0,3771$ ) i umrle ( $p = 0,1798$ ) raspodela akcidenata u podsistemima nije imala uticaj. Rezultati su grafički predstavljeni na slici 44.



Slika 44. Grafički prikaz rezultata analize varijanse nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih i nastradalih po podsistemima u akcidentima amonijaka

Sa slike 44 se vidi očigledan uticaj povećanog broja nehospitalizovanih u podsistemu proizvodnje i povećan broj nastradalih u logističkom podsistemu pretovara. Detaljnija kvantitativna analiza je izvedena Dankanovim testom analize varijanse. Dankanov test je izabran zbog tolerancije prema statističkoj grešci prve vrste i mogućnosti istovremene komparacije srednjih vrednosti po izabranom faktoru logističkog podsistema.

## 5. Razvoj i testiranje modela za procenu rizika amonijaka u logističkim podsistemima

Srednja vrednost broja nehospitalizovanih radnika pri akcidentu amonijaka je  $\mu = 2,5125$  (tabela 2). Dankanovim testom analize varijanse ustanovljeno je da se najveći broj nehospitalizovanih radnika pojavljuje u podsistemu proizvodnje (5,4688 radnika/akcidentu). Ova vrednost ipak nije statistički značajnija od broja nehospitalizovanih učesnika pri transportu i upotrebi, respektivno:  $\mu_4 = 2,2222$  i  $\mu_5 = 2,5143$ , ali je statistički značajno veća od broja nehospitalizovanih radnika u logističkim podsistemima skladišta i pretovara, respektivno:  $\mu_2 = 1,6786$  i  $\mu_3 = 0,1935$  (tabela 7).

Tabela 7. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja nehospitalizovanih radnika i trećih lica po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak

Podsistem		Proizvodnja	Skladište	Pretovar	Transport	Upotreba
		$\mu_1=5,4687^A$	$\mu_2=1,6786^B$	$\mu_3=0,1936^B$	$\mu_4=2,2222^{AB}$	$\mu_5=2,5212^{AB}$
1.	Proizvodnja		0,0276	0,0020	0,0528	0,0653
2.	Skladište	0,0276		0,3508	0,7326	0,6157
3.	Pretovar	0,0020	0,3508		0,2315	0,1830
4.	Transport	0,0528	0,7326	0,2315		0,8438
5.	Upotreba	0,0653	0,6157	0,1830	0,8438	

Između vrednosti označenih velikim slovima (A, B) nema značajne razlike prema Dankanovim višestrukim testom poređenja ( $p < 0.05$ ).

Srednja vrednost broja hospitalizovanih radnika pri akcidentu amonijaka je  $\mu = 2,2100$  (tabela 2). Dankanovim testom analize varijanse nije ustanovljen signifikantan uticaj faktora logističkih podsistema na srednje vrednosti hospitalizovanih učesnika u akcidentima amonijaka (tabela 8).

Tabela 8. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja hospitalizovanih radnika i trećih lica po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak

Podsistem		Proizvodnja	Skladište	Pretovar	Transport	Upotreba
		$\mu_1=3,0625^A$	$\mu_2=1,6429^A$	$\mu_3=1,2581^A$	$\mu_4=1,0000^A$	$\mu_5=2,2286^A$
1.	Proizvodnja		0,2695	0,1753	0,1299	0,4890
2.	Skladište	0,2695		0,7495	0,6191	0,6270
3.	Pretovar	0,1753	0,7495		0,8304	0,4521
4.	Transport	0,1299	0,6191	0,8304		0,3602
5.	Upotreba	0,4890	0,6270	0,4521	0,3602	

Između vrednosti označenih velikim slovima (A, B) nema značajne razlike prema Dankanovim višestrukim testom poređenja ( $p < 0.05$ ).

Srednja vrednost broja učesnika umrlih tokom hospitalizacije posle akcidenta amonijaka je  $\mu = 0,0791$  (tabela 2). Dankanovim testom analize varijanse je ustanovljeno je da se najmanji broj umrlih u akcidentima sa opasnom materijom amonijak pojavljuje u logističkom podsistemu transporta. Svi slučajevi hospitalizacije radnika posle akcidenta u logističkom podsistemu transporta su imali željeni ishod, nije bilo preminulih,  $\mu_4 = 0,00$ . Ova vrednost se statistički razlikuje od srednjeg broja preminulih u podsistemu proizvodnje  $\mu_1 = 0,1875$ , ali se test ipak ne može uvažiti – srednji broj preminulih tokom hospitalizacije “0” u slučaju transporta nema varijansu.

Preostale srednje vrednosti za podsisteme skladištenja, pretovara i upotrebe su respektivno:  $\mu_2 = 0,0714$ ,  $\mu_3 = 0,0967$  i  $\mu_5 = 0,0571$ . Navedene srednje vrednosti se takođe ne razlikuju signifikantno od srednjeg broja umrlih od akcidenta amonijaka u podsistemu proizvodnje  $\mu_1 = 0,1875$  (tabela 9).

Tabela 9. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja umrlih tokom hospitalizacije po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak

Podsistem		Proizvodnja	Skladište	Pretovar	Transport	Upotreba
		$\mu_1=0,1875^A$	$\mu_2=0,0714^A$	$\mu_3=0,0967^A$	$\mu_4=0,0000^A$	$\mu_5=0,0571^A$
1.	Proizvodnja		0,1931	0,2791	0,0444	0,1587
2.	Skladište	0,1931		0,7624	0,4260	0,8647
3.	Pretovar	0,2791	0,7624		0,2990	0,6595
4.	Transport	0,0444	0,4260	0,2990		0,4954
5.	Upotreba	0,1587	0,8647	0,6595	0,4954	

Između vrednosti označenih velikim slovima (A, B) nema značajne razlike prema Dankanovim višestrukim testom poređenja ( $p < 0.05$ ).

Srednja vrednost broja nastradalih radnika pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak je  $\mu = 0,1625$  (tabela 2). Dankanovim testom analize varijanse je ustanovljen signifikantan negativan uticaj faktora logističkog podsistema pretovara. Srednja vrednost broja nastradalih radnika u akcidentu iznosi  $\mu_3 = 0,4193$ . Vrednost je signifikantno najveća među svim preostalim srednjim vrednostima u ostalim logističkim podsistemima. Ova negativna dominacija podsistema pretovara je kvalitativna potvrda indicija o kritičnom riziku akcidenta opasne materije amonijak u logističkom podsistemu pretovara (tabela 10).



Tabela 10. Analiza varijanse raspodela srednjeg broja nastradalih po podsistemima pri akcidentu sa opasnom materijom amonijak

Podsistem		Proizvodnja	Skladište	Pretovar	Transport	Upotreba
		$\mu_1=0,1526^A$	$\mu_2=0,1071^A$	$\mu_3=0,4193^B$	$\mu_4=0,1111^A$	$\mu_5=0,1214^A$
1.	Proizvodnja		0,7529	0,0585	0,7625	0,8023
2.	Skladište	0,7529		0,0436	0,9772	0,9238
3.	Pretovar	0,0585	0,0436		0,0413	0,0416
4.	Transport	0,7625	0,9772	0,0413		0,9408
5.	Upotreba	0,8023	0,9238	0,0416	0,9408	

Između vrednosti označenih velikim slovima (A, B) nema značajne razlike prema Dankanovim višestrukim testom poređenja ( $p < 0.05$ ).

## 5.5. ANALIZA PO TIPU DEJSTVA AMONIJAKA

Od 240 akcidenata sa učešćem radnika i trećih lica, po tipu dejstva opasne materije amonijak ustanovljeno je:

- 112 ili 46,67% akcidenata sa respiratornim i toksičnim efektima (RT),
- 114 ili 47,50% akcidenata sa smrzotinama (S),
- 8 ili 3,33% akcidenata sa požarom i opekotinama (PO) i
- 6 ili 2,50% akcidenata u kojima su povrede nastale od dejstva eksplozija (EX).

Raspodela nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih tokom hospitalizacije i nastradalih učesnika akcidenta po tipu dejstva amonijaka je data u tabeli 11.

Tabela 11. Raspodela nehospitalizovanih, hospitalizovanih, radnika preminulih tokom hospitalizacije i nastradalih radnika po tipu dejstva opasne materije amonijak

Dejstvo amonijaka	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali	$\Sigma$
		Preživeli	Preminuli		
RT (46.67%)	135	178	10	17	340 (29,18%)
S (47.50%)	428	307	7	18	760 (65,23%)
PO (3.33%)	14	16	1	3	34 (2,91%)
EX (2.50%)	26	3	1	1	31 (2,68%)
$\Sigma$	<b>603</b>	<b>504</b>	<b>19</b>	<b>39</b>	<b>1165 (100%)</b>

Frekvencije radnika su signifikantno neravnomerno raspodeljene po tipu dejstva.  $\chi^2$  test kontingencija ima vrednost 50,40 što rezultira pragom signifikantnosti  $p = 0,00001 < 0,05$ . Uticaj tipa dejstva je značajan.

Najveći broj radnika je trpeo posledice akcidenta sa smrzotinama (S), 760 radnika. Ovih 65,23% radnika je ustanovljeno u 47,50% akcidenata. Testom proporcija ( $p = 0,0002$ ) zaključeno je da smrzotina signifikantno najzasupljenije dejstvo amonijaka prilikom akcidenata.

Smrtnost učesnika (preminulih i nastradalih) od S dejstva amonijaka je 3,29%. Smrtnost učesnika od RT dejstva amonijaka od 7,94% je signifikantno disproportionalno veća od S dejstva amonijaka ( $p = 0,0004$ ). Takođe, smrtnost učesnika od dejstva požara i opekotina (PO) od 11,76% je signifikantno disproportionalno veća od S dejstva ( $p = 0,0050$ ). Smrtnosti od S and EX dejstva 6,45% su proporcionalne ( $p = 0,1709$ ). Između proporcija RT and PO dejstva amonijaka nema signifikantne razlike ( $p = 0,2206$ ). Zaključuje se da su RT i PO dejstvo amonijaka u akcidentima signifikantno invanzivniji od komplementarnih S i EX dejstva. Srednji broj radnika po tipu dejstva i raspodelama posledica dat je u tabeli 12.

Tabela 12. Srednji broj radnika po tipu dejstva i posledicama u akcidentima

Dejstvo amonijaka	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali
		Preživeli	Preminuli	
RT (112)	2,8723	2,5070	1,1111	1,1333
S (114)	7,0164	5,3860	1,0000	1,3846
PO (8)	3,5000	2,0000	1,0000	1,0000
EX (6)	13,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Uočena dominacija broja nastradalih radnika u logističkom podsistemu pretovara (vidi tabelu 10) je detaljnije ispitana po tipu dejstva. Od 1165 radnika i trećih lica, 61 lice (5,23%) je obuvaćeno u 31 akcidentu koji se realizovao u logističkom podsistemu pretovara. U tri akcidenta su evidentirani nehospitalizovani i hospitalizovani preminuli, u jednom hospitalizovani preživeli i hospitalizovani preminuli, i u dva akcidenta hospitalizovani preživeli i nastradali. Raspodela učesnika po tipu dejstva amonijaka i posledicama data je u tabeli 13.

Tabela 13. Raspodele nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih i nastradalih u akcidentima amonijaka po tipu dejstva amonijaka u podsistemu pretovara

Dejstvo amonijaka	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali
		Preživeli	Preminuli	
RT (37)	3	27	1	6
S (21)	2	10	2	7
PO (2)	1	1	0	0
EX (1)	0	1	0	0
<b>Σ</b>	<b>6</b>	<b>39</b>	<b>3</b>	<b>13</b>

Iz tabele 14 je očigledno da su posledice u podsistemu pretovara daleko teže. Smanjen je broj nehospitalizovanih na račun hospitalizovanih. Skup hospitalizovanih sadrži veći broj preminulih, a broj nastradalih je takođe povećan.

Ovaj zaključak je potvrđen statistički. Ako se ishodi akcidenata u podsistemu pretovara kompariraju sa komplementarnim skupom ishoda akcidenata u svim ostalim podsistemima (preostalo 1104 radnika i trećih lica), signifikantno se ističu nastale razlike:

- naspram 6 od 61 nehospitalizovanih ili 9,83% u podsistemu pretovara, preostaje 557 od 1104 nehospitalizovanih ili 50,45% u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije potvrđuje signifikantnu razliku nehospitalizovanih ( $p = 0,0000$ ),
- naspram 42 od 61 hospitalizovanih ili 68,85% u podsistemu pretovara, preostaje 481 od 1104 hospitalizovanih ili 43,56 % u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije potvrđuje signifikantnu razliku hospitalizovanih ( $p = 0,0001$ ) i
- naspram 13 od 61 nastradalih ili 21,32% u podsistemu pretovara, preostaje 26 od 1104 nastradalih ili 2,35% u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije potvrđuje signifikantnu razliku nastradalih ( $p = 0,0001$ ).

Ako se kompariraju akcidenati po tipu dejstva u podsistemu pretovara i porede sa dejstvom amonijaka u akcidentima koji su realizovani u komplementarnim logističkim podsistemima skupom ishoda akcidenata u svim ostalim logističkim podsistemima signifikantno se ističu nastale razlike:

- naspram 37 od 61 ili 60,65% RT dejstva amonijaka u podsistemu pretovara, preostaje 98 (razlika do 135) od 1104 ili 8,87% RT dejstva amonijaka u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije potvrđuje signifikantnu razliku proporcija RT dejstva ( $p = 0,0001$ ).
- naspram 21 od 61 ili 34,42% S dejstva amonijaka u podsistemu pretovara, preostaje 407 (razlika do 428) od 1104 ili 36,86% S dejstva amonijaka u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije ne potvrđuje postojanje signifikane razlike proporcija S dejstva ( $p = 0,3502$ ).
- naspram 2 od 61 ili 3,28% po PO dejstvu amonijaka u podsistemu pretovara, preostaje 12 (razlika do 14) od 1104 ili 1,08% S dejstva amonijaka u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije ne potvrđuje postojanje signifikane razlike proporcija PO dejstva ( $p = 0,0619$ ).
- naspram 1 od 61 ili 1,64% po EX dejstvu amonijaka u podsistemu pretovara, preostaje 25 (razlika do 26) od 1104 ili 2,26% EX dejstva amonijaka u komplementarnim logističkim podsistemima - test proporcije ne potvrđuje postojanje signifikane razlike proporcija EX dejstva ( $p = 0,2435$ ).

Dokazana tendencija je očigledna iz raspodela srednjeg broja nehospitalizovanih, hospitalizovanih, umrlih i nastradalih u akcidentima po tipu dejstva amonijaka u logističkom podsistemu pretovara.

Tabela 14. Srednji broj nehospitalizovanih, hospitalizovanih, preminulih i nastradalih u akcidentima amonijaka po tipu dejstva amonijaka u podsistemu pretovara

Dejstvo amonijaka	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali
		Preživeli	Preminuli	
RT	1,5000	2,7000	1,0000	1,5000
S	1,0000	1,6666	1,0000	1,6607
PO	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
EX	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000

Na osnovu elementarne diferencijacije proporcija, možemo zaključiti da se akcidenti amonijaka u podsistemu pretovara dominantno, u 60,65% slučajeva, realizuju usled respiratorno-toksičnog (RT) dejstva amonijaka. RT tip dejstva je značajno zastupljeniji u podsistemu pretovara nego u ostalim logističkim podsistemima.

Zbog invazivnog RT dejstva, akcidenti amonijaka u podsistemu pretovara signifikantno povećavaju broj hospitalizovanih i nastradalih radnika. Napomenimo da u statističkom uticaju tipa dejstva na posledice, u velikom broju akcidenata je bilo učesnika sa trijažom posledica. Zbog toga, interpretacija rezultata dobijenih na osnovu primene ANOVA testa, nije transparentna poput testova proporcije.

## LITERATURA

- [1] <http://www.factsonline.nl>
- [2] <https://search.osha.gov>
- [3] Janković, Z., Razvoj modela za proračun rizika u logističkim sistemima opasnih materija, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sad, 2016.
- [4] Pamučar, D., Sremac, S., Stević, Ž, Ćirović, G., Tomić, D., New multi-criteria LNN WASPAS model for evaluating the work of advisors in the transport of hazardous goods, *Neural Computing and Applications*, Volume 31, Issue 9, pp. 5045-5068, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-03997-7> Sremac, S., Ziramov, N., Tanackov, I., Stević, Ž., Ristić, B., Ammonia-risk distribution by logistic subsystems and type of consequence, *Burns*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.07.032>
- [5] Stević, Ž., Pamučar, D., Sremac, S. Milisavljević, An integrated FUCOM-EDAS model for decision making in transportation of dangerous goods, XV International May Conference on Strategic Management - IMCSM19, pp. 17 - 25, Bor, Serbia, 2019.
- [6] Tanackov, I., Janković, Z., Sremac, S., Miličić, M., Vasiljević, M., Mihaljev-Martinov, J., Škiljaica, I., Risk distribution of dangerous goods in logistics subsystems, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, pp. 373–383, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.03.013>
- [7] Tepić, G., Sremac, S., Morača S., Lalić, B. Kostelac, M., Stojković, V., Accidents in facilities for storing hazardous materials, *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications - ORESTA*, pp. 24-39, 2019. <https://doi.org/10.31181/oresta1902025t>

## 6. DISKUSIJA

Sa stanovišta akcidentologije, amonijak spada u opasne materije sa procenjenim minimalnim rizikom od  $r = 2.8336 \cdot 10^{-6}$  akcident/tona. U poređenju sa drugim opasnim materijama, amonijak ima visok rizik od pojave akcidenta. Osnova visokog rizika je heterogeno nepoželjno dejstvo: od otrovnog, korozivnog, ekstremno hladnog do požara i eksplozija. Pored visokog rizika, pri akcidentima amonijaka je karakterističan veliki broj zahvaćenih radnika i trećih lica, prosečno 4,72 po akcidentu. Od toga 95,02% učesnika preživi akcident, a 4,98% završi fatalno.

Raspodele hospitalizovanih, nehospitalizovanih i nastradalih učesnika akcidenta amonijaka imaju homogene zakone, zasnovane na Vejbulovoj raspodeli. Odnos matematičkog očekivanja i varijanse Vejbulove raspodele ukazuje na pojavu malog broja akcidenata sa velikim brojem učesnika i obrnuto. Neuspelo medicinsko održavanje životnog statusa vitalno ugroženih učesnika akcidenta sa amonijakom je donekle promenilo način raspodele. Hospitalizovani preminuli učesnici su raspodeljeni po Binomnoj raspodeli.

Najveći broj učesnika u akcidentu amonijaka je ustanovljen u podsistemu proizvodnje, prosečno 8,8750. Od toga je prosečno 5,4687 nehospitalizovano, a prosečno 3,0625 preživelo hospitalizaciju. Procenat preživljavanja akcidenta amonijaka u podsistemu upotrebe je 96,16%. Očigledno da je podsistem proizvodnje dobro pripremljen za akcidente amonijaka: projektovanje bezbednosnih aspekata proizvodnih sistema, upotrebe senzora širokog spektra, primeni zaštitne opreme, protokola u slučaju akcidenta, itd. Zbog toga, podsistem proizvodnje, koji pri akcidentu neminovno zahvata veliki broj radnika, ima signifikantno veliki broj nehospitalizovanih i hospitalizovanih preživelih radnika.

Logistički podsistem skladištenja, nema istaknute rizike od akcidenata amonijaka.

Kritičan rizik amonijaka je ustanovljen u logističkom podsistemu pretovara. U prethodnim istraživanjima je već naglašeno da je pretovar amonijaka singularno najrizičniji u logističkom sistemu opasnih materija.

Kvantitativna analiza je potvrdila visoke rizike pretovara amonijaka, posebno sa rezultatom od 0,5160 fatalnih ishoda po akcidentu (0,0967 hospitalizovanih preminulih plus 0,4193 nastradalih). Praktično u svakom drugom akcidentu pri pretovaru amonijaka izvestan je jedan preminuli ili nastradali učesnik. Uzrok je otkriven pri analizi tipa dejstva amonijaka: respiratorno-toksično (RT) dejstvo je signifikantno istaknuto kao dominantno. Nisu potrebna dodatna tehno-hemijska istraživanja za sanaciju ovog zabrinjavajućeg rezultata. Istaknuto RT dejstvo upućuje na nedozvoljeno visoke koncentracije amonijaka u pretovarnom okruženju.

Za početak instantne mere mogu biti: zbog poznate entalpije amonijaka neophodno je smanjiti brzinu pretakanja, u pretovarnim stanicama treba obezbediti intenzivno provetravanje, senzorsko obezbeđenje spojnih elemenata pretovarne opreme i rigorozna primena zaštitne opreme. Istovremeno treba pristupiti rekonstrukciji postojeće i projektovanju nove bezbednije opreme za pretovar amonijaka.

Rezultati u logističkom podsistemu transporta su zadovoljavajući. Najmanji broj akcidenata amonijaka ima visok srednji broj nehospitalizovanih učesnika (2.2222). Podsistem transporta ima najmanji srednji broj hospitalizovanih, preminulih i nastradalih u akcidentima amonijaka. Rezultati u logističkom podsistemu transporta su zadovoljavajući, pre svega zbog dosledne primene ADR-a i RID-a.

U raspodeli akcidenata opasne materije amonijak dominira podsistem upotrebe. Na njega je raspodeljeno 58.33% akcidenata sa amonijakom. Ovaj kvantitet nema statistički naglašene kvalitativne razlike u rizicima, ni poželjne ni nepoželjne. Ako se naglasi da je najveći broj akcidenata nastao u poljoprivredni, dakle na otvorenom prostoru, pozicionirana je ciljna grupa poljoprivrednih proizvođača. Dodatnom edukacijom poljoprivrednih proizvođača o opasnostima od amonijaka i načinu upotrebe, broj akcidenata se može značajno smanjiti.

Po tipu neželjenog dejstva, najzastupljenije su smrzotine (S) od amonijaka. Iako je najzastupljenije neželjeno dejstvo, smrzotine izazivaju najmanje fatalnih ishoda. Najinvasivniji tip je respiratorno-toksično (RT) dejstvo amonijaka. Zbog toga, osim senzorske prevencije, ekstenzija protokola za respiratornu protekciju (filteri za gas tipa K) u slučaju amonijaka sigurno dovodi do značajnog smanjenja fatalnih ishoda akcidenta sa amonijakom.



## 7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

U disertaciji su prvi put istraživani diferencirani rizici opasne materije amonijak po logističkim podsistemima. Amonijak je svrsishodno izabran za izvedeno istraživanje zbog:

- istorijske konotacije, tj. prve poznate opasne materije sa antičkim imenom,
- širokog dijapazona primene od sirovine za proizvodnju drugih opasnih materija do primene kod rashladne tehnike i poljoprivrede,
- izražene heterogene opasnosti otrovnog gasa i korozivnog dejstva sa potencijalnom zapaljivošću i eksplozivnošću,
- višestrukog ili pojedinačnog neželjenog delovanja u akcidentnim situacijama od respiratorno toksičnog, korozivnog, izazivanja smrzotina i opekotina visokog stepena, do mehaničkog dejstva fragmenata eksplozija, sa mogućnostima holističkog razmatranja superponiranih posledica.

Obim proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe opasne materije amonijak je na žalost i pored možda najrazvijenijih senzorskih sistema za prevenciju i smanjenje rizika, ipak obezbedio baze podataka sa diferenciranim podacima o lokaciji velikog broja akcidenata u logističkim podsistemima.

Osnove za prezentovano istraživanje su postavljene na osnovu višedecenijskih istraživanja specifičnih i nespecifičnih akcidenata sa amonijakom. Uočena nekonzistentnost u kvantitativnim i kvalitativnim vrednostima rizika od akcidenta opasne materije amonijak, nije tumačena kao nedoslednost ili metodološki deficit prethodnih istraživanja. Generalno, ova nekonzistentnost nije primećena samo u slučaju opasne materije amonijak. Pretpostavka o opravdanom uzroku ove nekonzistentnosti je upućivala na varijabilnost vrednosti rizika koja, u skladu sa teorijom sistema, mora imati svoju izraženu dinamiku. Rešenje ovog problem je pretpostavljeno u prostornoj i vremenskoj transformaciji unutar logističkih podsistema, istovremeno po kvalitetu i po kvantitetu. Ova pretpostavka je bila opravdana, obe definisane hipoteze koje se odnose na egzistenciju u kvantitativnom i kvalitativnom nivou rizika po bezbednost i zdravlje učesnika akcidenata je pokazalo signifikantne razlike u logističkim

podsystemima. Time su prve dve postavljene hipoteze ovog istraživanja potvrđene. Sinhrona verifikacija istraživačkih hipoteza dodatno eliminiše greške prve vrste.

Treća hipoteza je takođe potvrđena u uslovima naglašene specifičnosti opasne materije amonijak. Predloženi model za procenu rizika opasne materije amonijak u logističkom sistemu je jasno diferencirao rizik po podsystemima proizvodnje, skladištenja, pretovara, transporta i upotrebe. Dokazana varijabilna dinamika procenjenih vrednosti rizika opasne materije amonijak u logističkim podsystemima ima višestruke implikacije:

- ostale opasne materije takođe mogu imati varijabilnu dinamiku procenjenih vrednosti rizika u logističkim podsystemima i
- ako je model postojan za višestruko neželjeno delovanje opasne materije amonijak, onda će model biti verifikovan i u simplificiranim uslovima za opasne materije sa najčešće pojedinačnim dejstvom.

U ovim implikacijama je i najveći doprinos istraživanja, pre svega u opravdanoj pretpostavci da se identične hipoteze mogu postaviti i verifikovati na primeru drugih opasnih materija, što su apriori, osnovni pravci daljih istraživanja. Međutim, treba uočiti da se ova istraživanja ne mogu generalizovati i da se svaka opasna materija mora pojedinačno istraživati. Naučni doprinos ovog rada je i u već formiranim i verifikovanim hipotezama za identična ili slična istraživanja diferenciranog logističkog rizika za ostale opasne materije.

Pored uočenog naučnog doprinosa, u konkretnom slučaju za opasnu materiju amonijak, istaknute su realne kritične tačke u logističkim podsystemima. Primarni praktični doprinos istraživanja se zasniva na promenama i dopunama propisanih uslova pravilne primena dostupne zaštitne opreme. Ove mere možda ne mogu da značajno smanje rizik od nastajanja akcidenta opasne materije amonijak, ali sa velikom verovatnoćom mogu da značajno smanje rizik od posledica po život i zdravlje radnika. Sekundarni praktični doprinos se odnosi na signifikantno isticanje kritičnih logističkih podsystema u kojima treba revidirati postojeće ili propisati nove protokole i tehnologije, a sve u cilju smanjenja rizika od akcidenta.

U daljim istraživanjima, mogu se očekivati praktični doprinosi i za ostale konkretne opasne materije. Mnogobrojne baze podataka o akcidentima već postoje, što je neophodan uslov za dobru perspektivu narednih naučnih rezultata sa transparentnim primenama u zavisnosti od vrste opasne materije, kao i uslova prakse i praktične primene.

---

**LITERATURA**

- Akindele, A.A., Sartaj, M., The toxicity effects of ammonia on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste, *Waste Management*, 71, pp. 757–766, 2018.
- Alhabdan, F.M., Elnashaie, S.S.E.H., Simulation of an ammonia plant accident using rigorous heterogeneous models: Effect of shift converters disturbances on the methanator, *Mathematical and Computer Modelling*, 21(4), pp. 85-106, 1995.
- Amshel, C.E., Fealk, M.H., Phillips, B.J., Caruso, D.M., Anhydrous ammonia burns case report and review of the literature, *Burns*, 26, pp. 493-497, 2000.
- Anantachaisilp, S., Smith, S.M., Ton-That, C., Osotchan, T., Moon, A.R., Phillips, M.R., Tailoring deep level surface defects in ZnO nanorods for high sensitivity ammonia gas sensing, *Journal of Physical Chemistry*, 118, pp. 27150–27156, 2014.
- Androutsopoulos, K.N., Zografos, K.G., Solving the bicriterion routing and scheduling problem for hazardous materials distribution, *Transportation Research Part C Emerging Technologies* 18(5):713-726, 2010.
- Anjana, N.S., Amarnath, A., Harindranathan Nair, M.V., Toxic hazards of ammonia release and population vulnerability assessment using geographical information system, *Journal of Environmental Management*, Volume 210, pp. 201-209, 2018.
- Assadipour, G., Ke, G. Y., Verma, M., Planning and managing intermodal transportation of hazardous materials with capacity selection and congestion, *Transportation Research Part E*, 76, pp. 45–57, 2015.
- Baksh, A.A., Khan, F., Gadag, V., Ferdous, R., Network based approach for predictive accident modeling, *Safety Science*, 80, pp. 274–287, 2015.
- Barrett, K., Oceanic ammonia emissions in Europe and their boundary fluxes, *Atmospheric Environment*, 32, 381-391, 1998.
- Bersani, C., Papa, F., Sacile, R., Sallak, M., Terribile S., Towards dynamic exposure-based schedule for hazardous material trains, *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 6, pp. 116-127, 2016.
- Bernechea, E. J., Viger, J. A., Design optimization of hazardous substance storage facilities to minimize project risk, *Safety Science*, 51, pp. 49–62, 2013.
- Bubbico, R., Cave, S., Mazzarotta, B., Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17, 483–488, 2004.
- Bubbico, R., Carbone, F., Ramírez-Camacho, J.G., Pastor, E., Casal, J., Conditional probabilities of post-release events for hazardous materials pipelines, *Process Safety and Environmental Protection*, 104, pp. 95–110, 2016.
- Cassini, P., Hall, R. and Pons, P. Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels, *Quantitative Risk Assessment Model (Version 3.60)*, 2003.
- Cassini, P. Road transportation of dangerous goods: quantitative risk assessment and route comparison, *Journal of hazardous materials*, vol. 61, pp. 133-138, 1998.
- Changa, Y.H., Yehb, C.H., Liua, Y.L., Prioritizing management issues of moving dangerous goods by air transport, *Journal of Air Transport Management*, 12, pp.191–196, 2006.
- Claps R., English F.V., Leleux D.P., Richter D., Tittel F.K., Curl R.F. Ammonia detection by use of near-infrared diode-laser-based overtone spectroscopy, *Applied Optics*, 40, pp. 3487-4394, 2001.
- Conca, A., Ridella, C., Saponi, E., A risk assessment for road transportation of dangerous goods: a routing solution, *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 2890–2899. 2016.

- Cordeiro, F.G., Bezerra, B.S., Peixoto, A. S. P., Ramos, R. A. R., Methodological aspects for modeling the environmental risk of transporting hazardous materials by road, *Transportation Research Part D*, 44, pp. 105-121, 2016.
- Cozzani, V., Bonvicini, S., Spadoni, G., Zanelli, S., Hazmat transport: A methodological framework for the risk, analysis of marshalling yards, *Journal of Hazardous Materials*, 147, pp. 412–423, 2007.
- Cruz, A.M., Krausmann, E., Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, 59–6, 2009.
- Cvetanović, S., Integralni model sistemskog pristupa upravljanja rizikom od hemijskih udesa na lokalnom nivou, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2015.
- Cvetanović, S., Fire Safety at Natural Gas Warehouses, *International Symposium Utilisation of Natural Gas*, Makedonia, Skopje, 2000.
- Dangerous goods route selection criteria, *Centre for Transportation Engineering & Planning*, 2003.
- Darbra, R.M., Palacios, A., Casal, J., Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences, *Journal of Hazardous Materials*, 183, pp. 565–573, 2010.
- Dhaliwal, K., Department of Medicine, Southern Illinois University School of Medicine, case study, <http://www.thoracic.org/professionals/clinical-resources/environmental-and-occupational/clinical-cases/pages/case3.php>
- Di Fazio, A., Bettinelli, D., Louette, E., Mechin, J.P., Zazza, M., Vecchiarelli, P., Domanico, L., European pathways to introduce EGNOS and Galileo for dangerous goods transport, *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 1482–1491, 2016.
- Directive 95/50/EC of 1995 on uniform procedures for checks on the transport of dangerous goods by road, *Official Journal of the European Communities* No L 249/35.
- Directive 96/82/EC of 1996, on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, *Official Journal* L 010.
- Directive 98/91/EC of the European Parliament and of the Council of 14 December 1998 relating to motor vehicles and their trailers intended for the transport of dangerous goods by road and amending Directive 70/156/EEC relating to the type approval of motor vehicles and their trailers, *Official Journal of the European Communities* L 11/25.
- Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, *Official Journal of the European Union* L 167/30.
- Directive 2008/68/EC of the European Parliament and of the Council of 2008 on the inland transport of dangerous goods, *Official Journal of the European Union* L 260/13.
- Directive 2010/35/EU OF of the European Parliament and of the Council of 2010 on transportable pressure equipment and repealing Council Directives 76/767/EEC, 84/525/EEC, 84/526/EEC, 84/527/EEC and 1999/36/EC, *Official Journal of the European Union* L 165/1.
- Dobbins, J. P., Abkowitz, M. D., Development of a centralized inland marine hazardous materials response database, *Journal of Hazardous Materials B*, 102, pp. 201–216, 2003.
- Durbin, T.D., Wilson, R.D., Norbeck, J.M., Miller, J.W., Huai, T., Rhee S.H. Estimates of the emission rates of ammonia from light-duty vehicles using standard chassis dynamometer test cycles , *Atmospheric Environment*, 36, pp. 1475-1482, 2002.

- El-Basyouny, K., Cheng, D., Lim, C., & Sayed, T. Risk/Cost-based Algorithm for the Routing of Dangerous Goods. Annual Conference of the Transportation Association of Canada, 2009.
- Ellis, J., Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea, *Safety Science*, 49, pp. 1231–1237, 2011.
- Elvik, R., Voll, N.G., Challenges of improving safety in very safe transport systems. *Safety Science*, 63, 115-123, 2014.
- Erisman, J.W., Mark, A. Sutton, M.A., James, Galloway J., Zbigniew Klimont Z., Wilfried Winiwarter W., How a century of ammonia synthesis changed the world, *Nature Geoscience*, 636–639, 2008.
- Erkut, E., Ingolfsson, A., Transport risk models for hazardous materials: revisited. *Operations Research Letters*, 33, pp. 81–89, 2005.
- Erkut, E., Tjandra, S.A., Verter, V., Hazardous Material Transportation, Handbook in OR & MS, C. Barnhart and G. Laporte (Eds.) Elsevier, 2007.
- Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe od 30. septembra 1957. godine - ADR, Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori br. 59/72 i 8/77, Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori br. 2/10 i 14/13, sa naknadnim izmenama i dopunama.
- Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnog tereta na unutrašnjim plovnim putevima od 26. maja 2000. godine - ADN, Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori br. 3/10, 1/14 i 7/15, sa naknadnim izmenama i dopunama.
- Fehér, M., Martin, P.A., Rohrbacher, A., Soliva, A.M., Maier, J.P., Inexpensive near-infrared diode-laser-based detection system for ammonia, *Applied Optics*, 32, pp. 2028-2030, 1993.
- file:///C:/Documents%20and%20Settings/XP%20PRO/My%20Documents/Downloads/806474.pdf
- Frank, W.C., Thill, J.C., Batta, R. Spatial decision support system for hazardous material truck routing, *Transportation Research Part C*, Vol. 8, No. 1-6, pp. 337-359, 2000.
- Fuerte, A., Valenzuela, R.X., Escudero, M.J., Daza, L., Ammonia as efficient fuel for SOFCA, *Journal of Power Sources*, 192, pp. 170-174, 2009.
- Ganesh, R.S., Durgadevic, E., Navaneethan, M., Patil, V.L., Ponnusamy, S., Muthamizhchelvan, C., Kawasakie, S., Patil, P.S., Hayakawa, Y., Controlled synthesis of Ni-doped ZnO hexagonal microdiscs and their gas sensing properties at low temperature, *Chemical Physics Letters*, pp. 92-99, 2017.
- General Guideline for the Calculation of Risks in the Transport of Dangerous Goods by Road, United Nations Economic Commission for Europe - UNECE, 2008.
- George, A., Bang, R.L., Lari, A.R., Gang, R.K., Kanjoor, J.R., Liquid ammonia injury, *Burns* 26(4) 409-413, 2000.
- Giacone, M. O., Brattaa, F., Gandinib, P., Studerb, L. Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory, *Chemical Engineering Transactions*, 26, pp. 579-584, 2012.
- Glickman, T.S., Erkut, E., Zschocke, M. S., The cost and risk impacts of rerouting railroad shipments of hazardous materials, *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp.1015-1025, 2007.
- Grozdanović, M., Stojiljković, E., Metode procene rizika, Niš, 2013.

- Haastrup, P., Brockhoff, L., Severity of accidents with hazardous materials: a comparison between transportation and fixed installations, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 3, pp. 395-405, 1990.
- Hejze, T., Besenhard, J.O., Kordesch, K., Cifrain, M., Aronsson, R.R., Current status of combined systems using alkaline fuel cells and ammonia as a hydrogen carrier, *Journal of Power Sources*, pp. 490-493, 2008.
- <https://www.chron.com/news/houston-texas/houston/article/In-1976-an-ammonia-truck-disaster-claimed-the-12906732.php#photo-1207990>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Texas\\_City\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_disaster)
- <https://www.firehouse.com/rescue/hazardous-materials/article/12306150/lessons-learned-from-anhydrous-ammonia-incident>
- <https://www.bbc.com/news/uk-england-northamptonshire-45836240>
- [http://www.china.org.cn/photos/2013-09/01/content\\_29887592\\_7.htm](http://www.china.org.cn/photos/2013-09/01/content_29887592_7.htm)
- <https://www.youtube.com/watch?v=1ReAjMhCeu0>
- [http://www.eurogreen.co.rs/essential\\_grid/seveso-postrojenja/](http://www.eurogreen.co.rs/essential_grid/seveso-postrojenja/)
- <https://www.usgs.gov/>
- <https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm>
- <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>
- <https://www.juznevesti.com/Drushtvo/Amonijak-opasan-gas-cisterne-iz-Jasenovika-bezbedno-ukloniti.sr.html>
- <http://archive.indianexpress.com/news/blast-at-vatva-ammonia-plant-kills-one/604942/>
- [https://www.technicalsaftybc.ca/sites/default/files/2018-07/FaultTrees/TSBC\\_257671\\_InvestigationReport\\_v14\\_online.pdf](https://www.technicalsaftybc.ca/sites/default/files/2018-07/FaultTrees/TSBC_257671_InvestigationReport_v14_online.pdf)
- <https://www.cheminst.ca/magazine/article/the-big-chill/>
- <http://dramarnathgiri.blogspot.rs/2013/11/adult-male-chemical-burn-to-body.html>
- <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/1999/em/a904846d?page=search>
- [https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files\\_mf/A3485\\_ips03485\\_002.pdf](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/A3485_ips03485_002.pdf)
- <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/inline-files/nh3inpropanetanks.pdf>
- <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/PAB0702.pdf>
- <https://www.technicalsaftybc> <https://www.sciencephoto.com/search>
- <https://pulmonarychronicles.com/index.php/pulmonarychronicles/article/view/397/864>
- <http://www.factsonline.nl>
- <https://search.osha.gov>
- Hu, T. L., Sheu, J. B., Huang, K. H., A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E*, 38, pp. 457-473, 2002.
- Inić, M., Jovanović D., Propisi u oblasti saobraćaja, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2009.
- Janković, Z., Razvoj modela za proračun rizika u logističkim sistemima opasnih materija, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2016.
- Jiang, Y., Zhang, X., Ronga, Y., Zhanga, Z., A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation based on multi-commodity flow model, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 138, pp. 791-799, 2014.
- Kazantzi, V., Kazantzis, N., & Gerogiannis, V.C., Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 24, Issue 6, 2011, Pages 767-773, doi:10.1016/j.jlp.2011.05.006
- Kobayashi, H., Hayakawa, A., Kunkuma, K. D., Somarathne, A., Okafor, E.C., Science and technology of ammonia combustion, *Proceedings of the Combustion Institute*, Volume 37, Issue 1, pp. 109-133, 2019.

- Konvencija o međunarodnim prevozima železnicama (COTIF) od 9. maja 1980. godine - RID, Dodatak C – Pravilnik o međunarodnom železničkom prevozu opasne robe, Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori broj 8/84, Službeni list SRJ – Međunarodni ugovori broj 3/93, Službeni glasnik RS broj 102/07 i Službeni glasnik RS – Međunarodni ugovori br. 1/10, 2/13 i 17/15, sa naknadnim izmenama i dopunama.
- Kosenko, E., Venediktova, N., Kaminsky, Y., Montoliu, C., Felip, o V., Sources of oxygen radicals in brain in acute ammonia intoxication in vivo, *Brain Research*, 981, pp. 193-200, 2003.
- Krstić, V, Krstić, B, Mogućnost određivanja ekološkog rizika pri transportu opasnih materija, 7. Naučno istraživački skup sa međunarodnim učesćem „KVALITET 2011“, Neum, 2011.
- Krupa, S.V., Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review, *Environmental Pollution*, 124, pp179-221, 2003.
- Kulandaisamy, A.J., Reddy, J.R., Srinivasan, P., Babu, J., Mani, G.K., Shankar, P., Bosco, J., Rayappan, B., Room temperature ammonia sensing properties of ZnO thin films grown by spray pyrolysis: Effect of Mg doping, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 688, Part A, pp. 422-429, 2016.
- Kuncyć, R., Laberge-Nadeau, C., Crainic, T. G., Read, J. A., Organisation of truck-driver training for the transportation of dangerous goods in Europe and North America, *Accident Analysis and Prevention*, 35, pp. 191–200, 2003.
- Lee, S.K., Chang, D., Kim, S.W., Gas sensors based on carbon nanoflake/tin oxide composites for ammonia detection, *Journal of Hazardous Materials*, 268, pp. 110–114, 2014.
- Liu, X., Saat, M.R., Barkan, C.P.L., Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation, *Journal of Hazardous Materials*, pp. 276, pp. 442-451, 2014.
- Luo, M., Guo, J.Y., Cao, W.K., Inflammation: A novel target of current therapies for hepatic encephalopathy in liver cirrhosis, *World Journal of Gastroenterology*, 21, pp. 11815-11824, 2015.
- Malins, C., Doyle, A., MacCraith, B.D., Kvasnik, F., Landl, M., Šimon, P., Kalvoda, L., Lukaš, R., Pufler, K., Babusik, I., Personal ammonia sensor for industrial environments, pp. 417-422, 1999.
- Manchester, K.L., Man of destiny: the life and work of Fritz Haber, *Endavour*, 26, pp. 64-69, 2002.
- Mani, G.K., Bosco, J., Selective detection of ammonia using spray pyrolysis deposited pure and nickel doped ZnO thin films, *applied Surface Science*, pp. 405-412, 2014.
- Mani, G.K., Rayappan, J.B.B., Selective detection of ammonia using spraypyrolysis deposited pure and nickel doped ZnO thin films, *Applied Surface Science*, 311, pp. 405–412, 2014.
- Milazzo, M. F., Ancione, G., Lisi, R., Vianello, C., Maschio, G., Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, pp. 625–633, 2009.
- Milovanović, B., Doktorska disertacija, Prilog razvoju metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja transportuju opasnu robu sa aspekta upravljanja rizikom, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2012.
- Millea, T.P, Kucan J.O., Smoot E.C., Anhydrous Ammonia injuries, *Journal of Burn Care and Rehabilitaiton*, 10, pp. 448-453, 1989.
- Miller, S., A production of amino acids under possible primitive earth conditions, *Science*, 117, pp. 528-529, 1953.

- Miller, S., Urey H., Organic compound synthesis on the primitive earth, *Science*, 130, 245-251, 1959.
- Moos, R., Müller, R., Plog, C., Knezevic, A., Leye, H., Irion, E., Braun, T., Marquardt, K.J., Binder, K., Selective ammonia exhaust gas sensor for automotive applications, *Sensors and Actuators B*, 83, pp. 181-189, 2002.
- Mount, G.H., Rumburg, B., Havig, J., Lamb, B., Westberg, H., Yonge, D., Johnson, K., Kincaid R., Measurement of atmospheric ammonia at a dairy using differential optical absorption spectroscopy in the mid-ultraviolet, *Atmospheric Environment*, 36, pp. 1799-1810, 2002.
- Nanto, H., Minami, T., Takata, S. Zinc oxide thin film ammonia gas sensors with high sensitivity and excellent selectivity, *Journal of Applied Physics*, 60, pp. 482, 1986.
- Ni, M., Leung, M.K.H., Leung, D.Y.C., Ammonia-fed solid oxide fuel cells for power generation-A review, *Energy Research*, pp. 943-959, 2009.
- Ohtani, H., Kobayashi, M., Statistical analysis of dangerous goods accidents in Japan, *Safety Science*, 43. pp. 287-297, 2005.
- Oudendag, D.A., Luesink, H.H., The manure model: manure, minerals (N, P and K), ammonia emission, heavy metals and use of fertiliser in Dutch agriculture, *Environmental Pollution*, 102, pp. 241-246, 1998.
- Ožegović B., Sremac S., Tadić Ž., Stević Ž., Značaj i uloga savetnika za bezbednost u transportu opasnog tereta železnicom, *Ecologica*, Vol. 23, br. 83, Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije, ISSN 0354-3285, str. 647-651, 2016.
- Pamučar, D., Ljubojević, S., Kostadinović, D., Đorović, B., Cost and risk aggregation in multi-objective route planning for hazardous materials transportation—A neuro-fuzzy and artificial bee colony approach, *Expert Systems with Applications*, Volume 65, 2016, pp. 1-15.
- Pamučar, D., Sremac, S., Stević, Ž, Ćirović, G., Tomić, D., New multi-criteria LNN WASPAS model for evaluating the work of advisors in the transport of hazardous goods, *Neural Computing and Applications*, Volume 31, Issue 9, pp. 5045-5068, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-03997-7>
- Patil D.R., Patil L.A., Patil P.P., Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-activated ZnO thick film resistors for ammonia gas sensing operable at room temperature, *Sens. Actuators B chem.*, 126, pp. 368–374, 2007.
- Patil, S.L., Chougule, M.A., Sen, S., Patil, V.B., Measurements on room temperature gas sensing properties of CSA doped polyaniline – ZnO nanocomposites, *Measurement* 45, pp. 243–249, 2012.
- Pejin, R., Popović, Đ., Tanackov, I., Bjelica, A., Tomić-Naglić, D., Jovanović, A., Stokić, E., The synergistic action of antioxidative enzymes – correlations of catalase and superoxide dismutase in the development and during the treatment of type 2 diabetes, *Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo*, 147, pp. 286-294, 2019.
- Phan, N-T., Kim, K-H., Shon, Z-H., Jeon, E-C., Jung, K., Kim, N-J., Analysis of ammonia variation in the urban atmosphere, *Atmospheric Environment* 65, pp. 177-185, 2013.
- Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T., Qureshi, A. G., Bi-objective decision support system for routing and scheduling of hazardous materials, *Socio-Economic Planning Sciences*, 48, pp. 135-148, 2014.
- Praveen, P., Nagendra, S., 2015. Hazard evaluation using ALOHA tools in storage area of an oil refinery. *International Journal of Renewable Energy Technology*, 4, 203-209.
- Pravilnik o načinu transporta opasnog tereta u drumskom saobraćaju, *Sl. glasnik RS*, br. 125/2014.



- Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu sa Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje, Sl. glasnik RS, br 105/13 i 52/17.
- Pravilnik o načinu transporta i obaveznom operativnom praćenju opasnog tereta u železničkom saobraćaju, kao i obavezama učesnika u transportu opasnog tereta u železničkom saobraćaju i u vanrednim događajima, Sl. glasnik RS, br. 81/2015.
- Pravilnik o tehničkim normativima za bezbednost od požara i eksplozija postrojenja i objekata za zapaljive i gorive tečnosti i o uskladištavanju i pretakanju zapaljivih i gorivih tečnosti, Sl. glasnik RS, br. 114/2017.
- Pravilnik o uslovima za izdavanje posebnog odobrenja za transport određenog opasnog tereta, Sl. glasnik RS, broj 12/16.
- Procena rizika od katastrofa u Republici Srbiji, Ministarstvo unutrašnjih poslova, Beograd, 2019.
- Pudar, D., Sremac, S., Stojiljković, I., Jovanović, M., Tomić, D., Benefit of application of the software for monitoring vesseles under pressure, 14th International Conference "Road Safety in Local Community", Kopaonik, Serbia, Vol. 2, pp. 291 – 298, 2019.
- Qiao, Y., Keren, N., Mannan, M. S., Utilization of accident databases and fuzzy sets to estimate frequency of HazMat transport accidents, *Journal of Hazardous Materials*, 167, pp. 374–382, 2009.
- Ristić, S., Unapređenje modela angažovanja interventnih timova u hemijskim akcidentima izazvanim transportom opasnih materija, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet bezbednosti, 2015.
- Rømer, H., Brockhoff, L., Haastrup, P., Styhr Petersen, H.J., Marine transport of dangerous goods. Risk assessment based on historical accident data, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 6, pp. 219-225, 1993.
- Reilly, A., Nozick, L., Xu, N., Jones, D., Game theory-based identification of facility use restrictions for the movement of hazardous materials under terrorist threat, *Transportation Research Part E*, 48, pp.115–131, 2012.
- Saat, M. R., Wertha, C. J., Schaeffer, D., Yoonb, H., Barkan, C.P.L., Environmental risk analysis of hazardous material rail transportation, *Journal of Hazardous Materials*, 264, pp. 560–569, 2014.
- Samanlioglu, F., A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 226, pp. 332-340, 2013.
- Sanfourche, J.P., *Eumetsat, Air and Space Europe*, 2(1), pp. 120-122, 2000.
- Sberveglieri, G., Recent developments in semiconducting thin-film gas sensors, *Sensors and Actuators B*, 23, pp. 103-109, 1995.
- Scenna, N.J., Santa Cruz, A.S.M. Road risk analysis due to the transportation of chlorine in Rosario city, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 90, No.1, pp. 83-90, 2005.
- Sheu, J. B., A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes, *Computers & Operations Research*, 34, pp. 1442-1462, 2007.
- Slot, G.M.J., Ammonija gas burns; an account of six cases, *Lancet*, 2, pp. 1356-1357, 1938.
- Sobonya R., Fatal anhydrous ammonia inhalation. *Human Pathology*, 8, pp. 293–299, 1977.
- Soumen, D., Jayarama V. SnO<sub>2</sub>: A comprehensive review on structures and gas sensors, *Progress in Materials Science*, 66, pp. 112–255, 2014.
- Sremac, S., Stević, Ž., Pamučar, D., Arsić, M., Matić, B., Evaluation of a Third-Party Logistics (3PL) Provider Using a Rough SWARA–WASPAS Model Based on a New Rough Dombi Agregator, *Symmetry*, 10, 305, 2018.

- Sremac, S., Ziramov, N., Tanackov, I., Stević, Ž., Ristić, B., Ammonia-risk distribution by logistic subsystems and type of consequence, *Burns*, Vol. 46, Issue 2, pp. 360-369 2020. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.07.032>
- Standard SRPS ISO 39001:2016, Sistemi upravljanja bezbednošću drumskog saobraćaja (BDS) - Zahtevi sa uputstvima za upotrebu.
- Starčević, S., Gošić, A., Studija slučaja, Metodologija za izbor trase za transport opasnog tereta, Beograd, 2013.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Sremac, S. Milisavljević, An integrated FUCOM-EDAS model for decision making in transportation of dangerous goods, XV International May Conference on Strategic Management - IMCSM19, pp. 17 - 25, Bor, Serbia, 2019.
- Stuhlmann, R., Rodriguez, A., Tjemkes, S., Grandell, J., Arriaga, A., Bézy J-L., Aminou, D., Bensi, P., Plans for EUMETSAT's Third Generation Meteosat geostationary satellite programme, *Advances in Space Research*, 36(5), pp. 975-891, 2005.
- Tanackov, I., Janković, Z., Sremac, S., Miličić, M., Vasiljević, M., Mihaljev-Martinov, J., Škiljaica, I., Risk distribution of dangerous goods in logistics subsystems, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, pp. 373–383, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.03.013>
- Tadić, M., Pamučar, D., Optimization of dangerous goods transport from aspect of risk management in urban zone, International Conference on Management, Engineering and Environment ICMNEE 2018, Obrenovac, Republic of Serbia, 2018.
- Tadić, Ž., Definisanje mera za edukaciju učesnika u transportu opasnog tereta železnicom, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, diplomski rad, 2016.
- Tan, W., Du, H., Liu, L., Su, T., Liu, X., Experimental and numerical study of ammonia leakage and dispersion in a food factory, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 47, pp. 129-139, pp. 2017.
- Tang, Y.L., Li, Z.J., Ma, J.Y., Su, H.Q., Guo, Y.J., Wang, L., Du, B., Chen, J.J., Zhou, W., Yu, Q.K., Zu, X.T., Highly sensitive room-temperature surface acoustic wave (SAW) ammonia sensors based on  $\text{CO}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  composite films, *Journal of Hazardous Materials*, 280, pp. 127–133, 2014.
- Tarwal, N.L., Patil, A.R., Harale, N.S., Rajgure, A.V., Suryavanshi, S.S., Bae, W.R., Patil, P.S., Kim, J.H., Jang, J.H., Gas sensing performance of the spray deposited Cd-ZnO thin films, *Journal of Alloys and Compounds*, 598 pp. 282–288, 2014.
- Tepić, G., Sremac, S., Morača S., Lalić, B. Kostelac, M., Stojković, V., Accidents in facilities for storing hazardous materials, *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications - ORESTA*, pp. 24-39, 2019. <https://doi.org/10.31181/oresta1902025t>
- The “Volcanoes” of Midwestern Venezuela, Chapter 23, *Coal and Peat Fires: A Global Perspective, Case Studies – Coal Fires*, Elsevier, pp. 609-632, 2015.
- Timmer, B., Olthuis, W., Van den Berg, A., Ammonia sensors and their applications - a review, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 107, pp. 666-677, 2005.
- Torretta, V., Rada, E. C., Schiavon, M., & Viotti, P. Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review, *Safety science*, 92, pp. 1-9, 2017.
- Tomić, D., Sremac, S., Transportation of dangerous goods across cities – amendments in favor of traffic streams identification and facilities protection, 14th International Conference “Road Safety in Local Community”, Kopaonik, Serbia, Vol. 2, pp. 261 – 270, 2019.

- Torretta, V., Raboni, M., Copelli, S., Urbini, G., Application of a decision support system to the transport of hazardous materials. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12 (12), pp. 2031–2039, 2013.
- Uredba o pokretnoj opremi pod pritiskom, Sl. glasnik RS, br. 120/2017.
- Van Raemdonck, K., Macharis, C., Mairesse, O., Risk analysis system for the transport of hazardous materials, *Journal of Safety Research*, 45, pp. 55–63, 2013.
- Wallin, M., Karlsson, C.J., Skoglundh, M., Palmqvist, A., Selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> with NH<sub>3</sub> over zeolite H-ZSM-5: influence of transient ammonia supply, *Journal of Catalysis*, 218, pp. 354-364, 2003.
- Xie, Y., Lu, W., Wang, W., Quadrioglio, L., A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation, *Journal of Hazardous Materials*, pp. 135–141, 2012.
- Xuan, X., Yue, C., Li, S., Yao, Q., Selective catalytic reduction of NO by ammonia with fly ash catalyst, *Fuel*, 82, pp. 575-579, 2003.
- Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu, Sl. glasnik RS, br. 101/2005, 91/2015 i 113/2017 - dr. zakon.
- Zakon o transportu opasne robe, Sl. glasnik RS, br. 104/2016, 83/2018, 95/2018 – dr. zakoni 10/2019 – dr. zakon.
- Zakon o upravljanju otpadom, Sl. glasnik RS, br. 36/09, 14/16.
- Zakon o hemikalijama, Sl. glasnik RS, br. 36/09, 88/10, 92/11, 93/12 i 25/15.
- Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama, Sl. glasnik RS, br. 87/2018.
- Zakon o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanje usaglašenosti, Sl. glasnik RS, br. 36/2009.
- Zakon o transportu opasne robe, Službeni glasnik Republike Srbije br. 104/16 i 83/18.
- Zakon o zapaljivim i gorivim tečnostima i zapaljivim gasovima, Sl. glasnik RS, br. 54/15.
- Zakon o zaštiti od požara, Sl. glasnik RS, br. 111/2009, 20/2015, 87/2018 i 87/2018 - dr. zakoni.
- Zakon o zaštiti životne sredine, Službeni glasnik RS br. 135/2004.
- 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, pp. 686–693, 2012.
- Zhang, F., Zheng, X.F., Ma, B., Fan, H.M., Wang, G.Y., Xia, Z.F., Mass chemical casualties: Treatment of 41 patients with burns by anhydrous ammonia, *Burns*, 41(6), pp. 1360-1367, 2015.
- Zhang, J., Zhao, L., Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation, 27, pp. 117–122, 2007.
- Zhang, L., Xu, E.G., Li, Y., Liu, H., Vidal-Dorsch, D., Giesy, J.P., Ecological risks posed by ammonia nitrogen (AN) and un-ionized ammonia (NH<sub>3</sub>) in seven major river systems of China, *Chemosphere*, Volume 202, pp.136-144, 2018.
- Zimmerman, L.I., Lima, R., Pietrobon, R., Marcozzi, D., The effects of seasonal variation on hazardous chemical releases, *Journal of Hazardous Materials*, 151, pp. 232–238, 2008.
- Zografos, K. G., Androutopoulos, K. N., A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, *European Journal of Operations Research*, 152, pp. 507–519, 2004.
- Zografos, G.K., Androutopoulos, K.N., A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions. *Transportation Research: Part C*, 16, pp. 684–703, 2008.

## PRILOG

Baza akcidenata sa amonijakom i raspodela po logističkim podsistemima, tipu posledice, mesecima i posledicama delovanja amonijaka:

- logistički podsistemi: proizvodnja (1), skladištenje (2), pretovar (3), transport (4) i upotreba (5),
- tip posledice: nehospitalizovani, hospitalizovani preživeli, hospitalizovani preminuli i nastradali,
- mesec: respektivno od januara (1) do decembra (12) i
- posledice delovanja amonijaka: respiratno-toksične (1), smrzotine (2), požar i opekotine (3), povrede nastale od dejstva eksplozija (4).

Broj akc.	Logistički podsistem	Nehospitalizovani	Hospitalizovani		Nastradali	Mesec	Posledice
			Preživeli	Preminuli			
1.	5	0	0	0	2	3	1
2.	5	0	1	0	0	3	1
3.	3	0	2	0	0	9	1
4.	1	3	0	0	0	9	2
5.	5	2	0	0	0	10	1
6.	5	0	0	0	1	9	2
7.	5	2	1	0	0	6	1
8.	5	1	5	0	0	5	2
9.	5	9	0	0	0	5	2
10.	5	7	0	0	0	5	2
11.	5	0	1	0	0	12	2
12.	3	1	0	0	0	12	2
13.	3	0	1	0	0	12	1
14.	5	0	1	0	0	7	2
15.	5	0	1	0	0	1	2
16.	5	17	0	0	0	3	2
17.	3	0	0	0	1	3	1
18.	5	0	0	1	0	2	1
19.	5	5	0	0	0	1	1
20.	3	0	0	0	2	11	2
21.	3	1	17	0	0	10	1
22.	2	0	0	1	0	7	4

23.	2	0	1	0	0	7	1
24.	5	0	2	0	1	6	1
25.	3	0	0	0	2	5	1
26.	2	0	1	0	0	9	2
27.	1	0	0	0	1	7	1
28.	2	0	1	0	0	7	2
29.	5	0	1	0	0	7	1
30.	1	1	5	0	1	6	3
31.	2	0	1	0	0	4	1
32.	5	0	1	0	0	4	2
33.	5	0	3	0	0	1	2
34.	2	0	1	0	0	1	1
35.	1	1	17	0	0	12	2
36.	2	0	0	0	1	9	2
37.	1	41	0	0	0	8	2
38.	5	0	1	0	0	7	2
39.	3	1	1	0	0	6	3
40.	2	0	3	0	0	3	1
41.	5	0	1	0	0	2	1
42.	5	0	1	0	0	1	1
43.	5	4	0	0	0	12	2
44.	5	0	1	0	0	11	2
45.	5	2	0	0	1	10	1
46.	3	0	1	0	0	9	2
47.	1	0	0	1	0	9	2
48.	3	0	1	0	0	8	1
49.	5	1	1	0	0	6	1
50.	5	2	0	0	0	6	1
51.	5	1	0	0	0	10	1
52.	5	1	0	0	0	8	1
53.	5	0	1	0	0	4	1
54.	5	0	1	0	0	3	1
55.	5	0	0	0	1	5	2
56.	3	0	1	0	0	4	4
57.	5	0	0	0	1	3	2
58.	5	0	8	0	0	2	2
59.	3	1	0	0	0	1	2
60.	1	0	0	1	0	11	1
61.	2	1	0	0	0	8	1

62.	3	0	1	0	0	4	2
63.	1	0	1	0	0	4	1
64.	5	0	0	1	0	4	1
65.	4	0	1	0	0	8	3
66.	5	2	0	0	0	7	2
67.	5	5	2	0	0	6	3
68.	5	2	0	0	0	2	2
69.	5	0	4	0	0	12	1
70.	5	0	1	0	1	12	1
71.	5	6	6	0	0	12	1
72.	5	0	0	1	0	11	1
73.	5	1	0	0	0	7	1
74.	5	0	0	1	0	5	2
75.	5	6	0	0	0	3	1
76.	5	1	0	0	0	10	1
77.	5	0	0	0	0	9	2
78.	1	5	0	0	0	7	2
79.	5	0	0	1	0	7	2
80.	1	0	8	2	1	5	1
81.	5	2	0	0	0	4	1
82.	3	0	1	0	0	2	1
83.	5	0	1	0	0	3	2
84.	5	1	0	0	0	2	2
85.	5	0	1	0	0	9	2
86.	5	3	0	0	0	8	2
87.	5	1	0	0	0	8	4
88.	3	0	0	0	1	6	2
89.	3	0	0	0	1	5	1
90.	5	0	1	0	0	4	2
91.	5	0	1	0	0	3	3
92.	5	1	0	0	0	9	2
93.	3	0	1	0	0	7	1
94.	5	0	1	0	0	7	3
95.	5	2	0	0	1	5	2
96.	5	3	0	0	0	4	2
97.	3	0	1	0	1	1	2
98.	3	0	1	0	1	11	2
99.	1	29	1	0	0	9	2
100.	5	1	0	0	0	8	2

101.	5	1	0	0	0	6	2
102.	5	3	9	0	0	3	2
103.	5	0	6	0	0	3	1
104.	5	0	1	0	0	2	1
105.	3	0	0	0	1	12	1
106.	5	0	1	0	0	11	4
107.	5	0	1	0	0	11	1
108.	5	3	0	0	0	8	1
109.	1	0	3	0	0	5	2
110.	3	0	2	1	0	3	2
111.	5	0	1	0	0	2	2
112.	5	35	0	0	0	12	2
113.	5	7	0	0	0	8	2
114.	1	13	0	0	0	6	2
115.	5	16	0	0	0	6	2
116.	2	7	0	0	0	4	2
117.	5	15	5	0	0	3	2
118.	5	1	1	0	0	3	1
119.	5	0	3	0	0	10	1
120.	5	5	5	0	0	10	1
121.	5	7	0	0	0	8	1
122.	1	6	0	0	0	8	1
123.	5	0	1	0	0	6	1
124.	2	1	1	0	0	5	1
125.	3	0	0	1	0	5	2
126.	1	3	0	0	0	5	1
127.	2	0	0	1	0	4	1
128.	5	1	0	0	0	3	1
129.	3	0	0	1	0	1	1
130.	5	0	0	0	2	12	2
131.	2	1	1	0	0	11	1
132.	1	0	1	1	0	11	1
133.	5	1	11	0	0	10	2
134.	2	0	1	0	0	9	1
135.	3	0	0	0	1	9	1
136.	5	5	0	0	0	8	1
137.	1	0	10	1	0	6	2
138.	5	2	2	0	0	6	2
139.	2	0	1	0	0	5	1

140.	5	0	1	0	0	5	1
141.	5	6	0	0	0	3	1
142.	1	0	9	0	0	3	2
143.	1	2	0	0	0	1	2
144.	2	1	0	0	0	1	2
145.	4	0	1	0	0	10	2
146.	5	18	0	0	0	9	2
147.	1	3	2	0	0	7	1
148.	5	1	0	0	0	7	1
149.	5	0	1	0	0	6	1
150.	5	0	9	0	0	6	2
151.	5	1	2	0	0	4	1
152.	2	3	0	0	0	4	2
153.	1	1	0	0	0	2	1
154.	2	1	0	0	0	1	2
155.	4	0	1	0	0	11	1
156.	5	1	9	0	0	10	2
157.	5	4	0	0	0	10	1
158.	2	1	0	0	0	8	1
159.	3	2	1	0	0	8	1
160.	5	1	0	0	0	8	2
161.	1	24	3	0	0	7	2
162.	2	0	3	0	2	7	3
163.	5	11	0	0	0	6	2
164.	3	0	1	0	0	4	1
165.	1	0	5	0	0	4	1
166.	1	1	0	0	0	2	1
167.	2	15	6	0	0	1	2
168.	1	4	1	0	0	12	1
169.	5	0	10	0	0	12	2
170.	5	1	0	0	0	11	1
171.	3	0	1	0	0	10	1
172.	5	0	1	0	0	10	1
173.	5	0	1	0	0	10	1
174.	5	4	13	0	0	9	2
175.	1	2	1	0	0	8	1
176.	2	5	4	0	0	6	2
177.	4	14	0	0	0	6	1
178.	2	9	3	0	0	5	1



179.	5	4	0	0	0	4	2
180.	5	7	2	1	0	4	3
181.	1	0	0	0	1	4	1
182.	4	0	0	0	1	4	1
183.	2	0	1	0	0	3	1
184.	5	8	1	0	0	3	2
185.	2	1	0	0	0	2	2
186.	5	1	1	0	1	12	1
187.	5	11	0	0	0	10	2
188.	5	5	0	0	0	9	2
189.	5	0	1	0	0	9	1
190.	5	2	4	0	0	9	1
191.	2	0	10	0	0	2	1
192.	5	2	0	0	0	10	2
193.	5	0	3	0	0	10	2
194.	5	0	1	0	1	10	4
195.	5	0	1	0	0	7	1
196.	1	25	0	0	0	5	4
197.	2	1	1	0	0	3	1
198.	5	4	12	0	0	12	2
199.	5	0	1	0	0	11	2
200.	1	2	1	0	0	8	2
201.	5	14	3	0	0	8	2
202.	2	0	6	0	0	4	1
203.	4	2	0	0	0	2	1
204.	3	0	0	0	1	10	2
205.	3	0	1	0	0	7	1
206.	4	0	1	0	0	6	1
207.	5	0	13	0	0	6	1
208.	5	2	0	0	0	5	1
209.	5	2	1	1	0	5	1
210.	4	4	4	0	0	4	1
211.	1	1	29	0	0	3	2
212.	5	0	2	0	0	3	2
213.	5	0	14	0	0	1	2
214.	5	4	0	0	0	1	2
215.	5	0	15	0	0	1	1
216.	5	4	2	0	0	11	1
217.	5	0	2	0	0	11	2

---

218.	5	3	0	0	0	10	2
219.	5	2	2	0	0	9	2
220.	5	0	10	0	0	9	2
221.	5	0	11	0	0	8	2
222.	3	0	4	0	0	8	2
223.	5	3	1	0	0	7	2
224.	5	0	1	0	0	6	1
225.	5	0	0	0	4	5	2
226.	5	0	1	0	0	5	1
227.	4	0	1	0	0	4	1
228.	5	2	0	0	0	3	2
229.	1	8	0	0	0	2	2
230.	5	10	0	0	0	1	2
231.	5	0	0	1	0	11	2
232.	5	21	22	0	0	11	2
233.	5	0	5	0	0	11	2
234.	5	0	22	0	0	8	2
235.	5	0	1	0	0	8	2
236.	5	0	5	0	0	7	2
237.	5	3	0	0	0	5	2
238.	3	0	0	0	1	5	2
239.	1	0	1	0	1	5	1
240.	5	0	8	0	0	5	1