

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

Небојша Д. Вучићевић

**РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ЕМИСИЈЕ
ПОЛУТАНАТА НАСТАЛИХ У ПРОЦЕСУ САГОРЕВАЊА И
ДЕТОНАЦИЈЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА**

Докторска дисертација

Бор, 2022

UNIVERSITY OF BELGRADE
TECHNICAL FACULTY IN BOR

Nebojša D. Vučićević

**DEVELOPMENT OF A MODEL FOR THE OPTIMIZATION OF
POLLUTANT EMISSION GENERATED IN THE PROCESS OF
COMBUSTION AND DETONATION OF ORDNANCE**

Doctoral dissertation

Bor, 2022.

Комисија за преглед и одбрану:

Ментор: Проф. др Милован Вуковић, редовни професор
Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду,

Чланови комисије: Проф. др Предраг Ђорђевић, ванредни професор
Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду,

Проф. др Милош Папић, ванредни професор
Факултет техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу

Датум одбране: _____

Захвалност

Неизмерну захвалност на оствареном успеху изражавам својој породици, која се огледа у исказаном разумевању, подршци и мотивисању у току израде докторске дисертације. Хвала вам на раумевању и одузетој љубави, најдражи моји Гого, Анђо, Боги, Тата и Мама.

Надам се да ћете се поносити мојим успехом.

Сажетак

Моделовање загађења животне средине и негативног утицаја уништавања убојних средстава на истеку животног циклуса и активирања услед акцидента, извршена применом методе упоредне нумеричке анализе и софтверских пакета за предвиђање емисије експлозивних материја и убојних средстава, приликом сагоревања и детонације на отвореном простору.

Проблем лагеревања експлозивних материја и убојних средстава је највећим делом настао у време када се у току пројектовања, производње и уништавања, ефекат негативног утицаја на животну средину није узимао у обзир. На основу те чињенице настао је огроман проблем који треба превазићи уништавањем на еколошки прихватљив начин. Превазилажење проблема захтева високу технологију затворених система за уништавање који ће успети да сведу негативан утицај на прихватљив ниво или у потпуности да неутралише негативан утицај на животну средину. Пројектовање оваквих технолошких линија захтева огромне суме новца које могу приуштити развијене и високо развијене земље. Остале земље су принуђене да уништавају експлозивне материје и убојна средства путем метода које су еколошки неприхватљиве или да плаћају огромну надокнаду да друге земље уништавају њихова претичућа средства. Узимајући у обзир да је Република Србија држава која није у могућности да приушти високу технологију, уништавање је могуће на преостале наведене начине. На основу овог проблема и ризика од настајања акцидента у фабрикама за производњу експлозивних материја и убојних средстава и складиштима убојних средстава, настала је потреба за истраживањем ради сагледавања негативних ефеката на животну средину.

Превазилажење негативног утицаја се компензује делаборацијом, прерадом и превођењем елемената и експлозивних материја у стање које је безбедно по животну средину. Међутим, делаборација и превођење у стање за прераду или секундарну сировину није увек изводљиво. Спровођење поступка делаборације диктирају усвојене и освојене технологије делаборације у техничким ремонтним заводима или фабрикама наменске индустрије. Уколико постоји освојена технологија, алати и пројектно – техничка документација за делаборацију, најчешћа ограничавајуће околности које се јављају за спровођење делаборације су: неексплодирана убојна средства, убојна средства која су претрпела механичка оштећења или удесе, убојна средства која су имала отказ функције, импровизирана убојна средства или убојна средства непознатог стања или конструкције.

Циљ ове докторске дисертације је сагледавање негативног утицаја нус продуката услед експлозије или детонације експлозивних материја или убојних средстава, током животног циклуса. Метода уништавања на отвореном простору процесом сагоревања или детонације убојних средстава не подразумева само дириговано активирање на полигонима за уништавање убојних средстава и експлозивних материја већ и акциденте који настају из различитих разлога у фабричким постројењима и складишним просторима. Највећи обим и ефекат негативног утицаја настаје услед акцидента у фабричким постројењима, складиштима муниције и полигонима за уништавање убојних средстава јер су присутне максимално дозвољене нето количине експлозива, што је и предуслов за испитивање екстремних околности. Негативни утицај је сагледаван кроз утицај на животну средину, без ефеката разорне моћи ударног таласа. Део докторске дисертације је и студија случаја акцидента у фабричким постројењима предузећа Компанија „Слобода” а.д. Чачак и складишту убојних средстава „Луњевица” код Горњег Милановца са максимално дозвољеним нето количина експлозива, путем прорачуна зона опасности нето количине експлозива и нумеричке анализе у софтверском пакету „ALONA”. Нумеричком анализом је извршен прорачун димета и негативног ефеката продуката услед сагоревања и детонације са приказом руже ефеката и зона утицаја и концентрација продуката у односу на епицентар експлозије. Поред наведених студија случаја, путем нумеричке анализе и максимално дозвољених нето количина експлозива по објектима, постројењима, технолошким линијама и операцијама, извршен је прорачун и приказ ефеката у случају акцидента услед поремећаја регулаторног тока технолошког процеса. Ефекти приказују зоне утицаја високе концентрације, средње и мале концентрације продуката, димет распрострањања продуката концентрације и јачину ударног таласа, односно надпритиска.

Утицај интензитета ударног таласа је анализиран са аспекта могућности разарања баријере између погона и технолошких целина, ради утврђивања могућности преноса и прихватања детонације са једне на другу технолошку операцију.

Утврђивање концентрације продуката, негативни ефекти и домет распрострања облака након сагоревања и детонације може се вршити применом различитих софтвера ради обраде података. У овом раду је вршена и упоредна анализа постојећих софтверских пакета попут софтверског пакета „ALONA” и „ADORA”, ради утврђивања прецизности, тачности, поузданости и могућности предвиђања и моделовања симулирањем реалних услова. Моделовање негативних утицаја експлозивних материја и убојних средстава при сагоревању и детонацији на отвореном простору је усмерен на анализу студија случаја ефеката емисије продуката у ваздуху.

Поред већ поменутог у оквиру истраживања је извршено анкетирање кокао би се утврдила оспособљеност кадрова који су запослени у предузећу Компанија „Слобода” Чачак. Анкете су формиране према степену стручне спреме запослених лица, посебно за лица са средњим степеном стручне спреме, односно извршиоце и посебно за лица са високом стручном спремом, односно руководиоце и топ менаџмент предузећа. Питања су конципирана из области познавања експлозивних материја и убојних средстава, превентивно са аспекта хемијског састава и ефеката на животну средину те о њиховој оспособљености за предузимање превентивних и корективних мера безбедности и спровођења поступака у циљу смањења емисије продуката или неутралисања последица након акцидента. Анализа анкета је извршена на основу репрезентативних узорака запослених лица, тако што је узорак лица са високом стручном спремом и средњом стручном спремом износио преко 30% укупно запослених лица.

На основу резултата добијених у овој докторској дисертацији може се предложити израда законске регулативе за нивое дозвољених емисија када су експлозивне материје из домена наменске индустрије у питању. На основу тога би произашле процедуре и упутства за начин уништавања и компатибилног одлагања, односно слагања убојних средстава и експлозивних материја приликом уништавања, у сврху заштите животне средине. Добијени резултати могу бити основ конструкционе и техничке документације, ради увођења еколошки прихватљивих експлозивних материја у производњу, затим освајања и усвајања савремених технологија делаборације ради превођења експлозивних материја у секундарне сировине или технологија за процес уништавања.

Кључне речи: убојна средства (УБС), животна средина, животни циклус УБС, акциденти, сагоревање и детонација експлозивних материја и УБС, моделовање емисије полутаната.

Научна област: Техничко-технолошке науке

Ужа научна област: Инжењерски менаџмент

UDK бројеви: 005(043.3)

623.454.37(043.3)

502/504(043.3)

623.454.24(043.3)

Development of a model for the optimization of pollutant emission generated in the process of combustion and detonation of ordnance

Abstract

Modeling of environmental pollution and the negative impact of destruction of ordnance at the end of the life cycle and activation due to an accident, performed using the method of comparative numerical analysis and software packages for predicting the emission of explosive substances and ordnance, during combustion and detonation in open space.

The problem of storage of explosives and explosives mostly arose at the time when, during design, production and destruction, the effect of negative impact on the environment was not taken into account. Based on the fact, a huge problem has arisen the needs to be overcome by destroying it in an environmentally friendly way. Overcoming the problem requires high technology closed destruction systems that will manage to reduce the negative impact to an acceptable level or completely neutralize the negative impact on the environment. Designing such technological lines requires a huge amount of money that developed countries can afford. Other countries are forced to destroy explosives and ordnance using methods that are environmentally unacceptable or pay huge compensation for other countries to destroy their overtaking assets. Taking into account that the Republic of Serbia is a country that is unable to afford high technology, destruction is possible in the remaining listed ways. Based on this problem and the risk of accidents occurring in factories for the production of explosive substances and the explosives and warehouses of explosives, there was need for a case study to assess the negative effects on the environment.

Overcoming the negative impact is compensated by processing and explosives into a state that is safe for the environment. The implementation of the delaboration procedure is dictated by the adopted and won delaboration technologies in technical overhaul institutes or special industry factories. If there is acquired technology, tools and technical documentation for delaboration, the most common limiting circumstances that arise for the implementation of delaboration are unexploded ordnance that has had a failed function, improvised ordnance or ordnance of unknown condition or construction.

The goal of the doctoral dissertation was to assess the negative impact of waste products due to the explosion of explosives, during the life cycle, but also accident that occur for various reasons in factories and warehouses. The largest volume and effect of negative impact is caused by accidents in factory facilities, ammunition storage and ordnance disposal sites, because the maximum permissible net quantities of explosives are present, which is a prerequisite for examining extreme circumstances in the case study, environment without the effects of the destructive power of the shock wave. The subject of the doctoral dissertation is a case study of an accident in the factory facilities of the Company „Sloboda” a.d. Čačak and the ordnance warehouse „Lunjevica” near Gornji Milanovac with the maximum permitted amount of explosives, through numerical analysis was used to calculate the range and negative effects of products due to combustion and detonation with a display of the range of effects and zones of influence and concentrations of products in relation to the epicenter of the explosion. In addition to the mentioned case studies, through numerical analysis and the maximum allowed net quantities of explosions based on objects, plants, technological lines and operations, a calculation and presentation of the effects in the event of an accident due to disruption of the regulatory flow of the technological process was performed. The effects show the zones of influence of products, the range of spread products of concentration and the strength of the shock wave, i.e. overpressure.

The influence of the intensity of the shock wave was analyzed from the aspect of the possibility of destroying the barrier between the plant and the technological units, in order to determine the possibility of transferring and accepting the detonation from one to another technological operation.

Determination the concentration of the products, the negative effects and the range of the cloud spread after combustion and detonation can be done using different software for data processing. In this paper also carried out a comparative analysis of existing software package such as the „ALOHA” and „ADORA” software packages in order to determine the value, accuracy, reliability and the possibility of prediction and modeling by simulating real conditions. Space is focused on the analysis of case studies of the effects of products emissions in the air.

In addition to the above mentioned in the work, a survey of the professional qualifications of the personnel employed in the Company „Sloboda” Čačak was conducted. The surveys were formed according to the level of professional education of the employed persons, especially for persons with an intermediate level of professional education, i.e. executors and especially for persons with a higher professional education, i.e. executors managers and top management of the company. The questions are designed from the field of knowledge of explosive substances and explosives, primarily from the aspect of chemical composition and effects on the environment and questions about their ability to take preventive and corrective safety measures and implement procedures aimed at reducing product emissions or of neutralizing the consequences after the accident. The analysis of the survey was carried out on the basis of representative samples of employed persons, so that the sample of persons with a university degree and a secondary vocational education amounted to over 30% of the total number of employed persons.

On the basis of the results obtained in this doctoral dissertation, legislation can be drafted for the levels of permitted emissions when explosive substances from the domain of dedicated industry are concerned. On the basic basis of which the procedures and instructions for the method of destruction and compatible disposal, i.e. stacking of ordnance and explosive materials during destruction for the purpose of environmental protection, would emerge. It must also be the basis of construction and technical documentation, for the purpose of introducing environmentally acceptable explosive materials into production, then conquering and adopting modern delaboration technology in order to convert explosive materials into secondary raw materials or technologies for the destruction process.

Keywords: ordnance, environment, life cycle ordnance, accidents, combustion, burning and detonation of explosive substances and ordnance, pollutant emission modeling

Scientific field: Technical - technological sciences

Scientific subfield: Engineering management

UDK numbers: 005(043.3)

623.454.37(043.3)

502/504(043.3)

623.454.24(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД	23
2. КОНЦЕПТ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ	29
2.1. Појам животне средине	29
2.2. Појам атмосфере	30
2.2.1. Слојеви атмосфере	30
2.2.2. Састав атмосфере	32
2.2.3. Ваздух и његове карактеристике	36
2.2.4. Атмосферска циркулација	37
2.3. Атмосферски гасови	41
2.4. Распростирање контаминације у ваздуху	42
2.5. Глобална перспектива животне средине	46
2.6. Преглед карактеризације животне средине	46
3. ЗАГАЂЕЊЕ ВАЗДУХА	47
4. УБОЈНА СРЕДСТВА И ЕКСПЛОЗИВНЕ МАТЕРИЈЕ	49
4.1. Експлозивни и коверзије приликом сагоревања и детонације	49
4.2. Физичка и детонациона својства експлозивне материје	49
4.3. Врсте експлозива	50
4.4. Експлозија	56
4.5. Иницијалне експлозивне материје	60
4.5.1. Живин фулминат	60
4.5.2. Олово азид	61
4.5.3. Оловотрирезорцинат – оловостифнат	63
4.5.4. Тетразен	63
4.6. Еколошки примарни експлозивни	64
4.7. Бризантни експлозивне материје	64
4.7.1. Нитроцелулоза	64
4.7.2. Нитроглицерин	66
4.7.3. Пентаеритритол-тетранитрат	66
4.7.4. Тринитротолуен - TNT	67
4.7.5. Тетрил	69
4.7.6. Хексоген RDX	70

4.7.7. Октоген HMX	71
4.7.8. Нитрогванидин NGV	72
4.7.9. Триаминотринитробензен TATB	73
4.7.10. Хексанитростилбен HNS	73
4.7.11. CL-20 – HNIW	74
4.7.12. PBX експлозиви	74
4.7.13. Slurry, хидрогел и емулзиони експлозиви	74
4.7.14. Кубани	75
4.7.15. Призмани	75
4.7.16. Адамантани	76
4.7.17. Норборнани	76
4.7.18. N-нитродеривати	76
4.7.19. Тринитроазетидин (TNAZ)	76
4.7.20. FOX-7	77
4.8. Барути	77
4.8.1. Хомогени барути	78
4.8.2. Једнобазни барути	78
4.8.3. Двобазни барути	79
4.8.4. Екструдирани ракетни барути	79
4.8.5. Тробазни барути	80
4.8.6. Сагоревање нитроцелилозе	80
4.8.7. Сагоревање нитроглицерина	80
4.8.8. Сагоревање хомогених барута	80
4.8.9. Сагоревање модификованих двобазних барута	82
4.8.10. Сагоревање амонијум-перхлората	83
4.8.11. Сагоревање амонијум-динитрамида	83
4.8.12. Сагоревање амонијум-нитрата	84
4.8.13. Сагоревање хексогена, RDX и октогена HMX	84
4.8.14. Сагоревање композитних барута	85
4.9. Пиротехника	86
4.9.1. Неорганска горива	87
4.9.2. Органска горива	88

4.9.3. Сагоревање пиротехничких смеша	88
4.9.4. Састав осветљавајућих смеша	88
4.9.5. Запаљиве смеше са оксидансом	89
4.9.6. Напалм смеша	89
4.9.7. Успорачке смеше	89
4.9.8. Димови	90
4.9.9. Стварање димова.....	91
5. ЕКСПЛОЗИВНЕ МАТЕРИЈЕ КАО ЗАГАЂИВАЧИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ.....	94
5.1. Процена животног циклуса производње и употребе убојних средстава.....	94
5.2. Животни циклус муниције 155 mm	95
5.3. Муниција малог калибра.....	99
5.4. Опис система и апаратуре за испитивање животног циклуса	99
5.5. Процена утицаја муниције малог калибра на животни циклус	101
5.6. Процена животног циклуса одлагања муниције.....	104
5.7. Демилитаризација убојних средстава применом отворене детонације.....	107
5.8. Упоредна анализа пет различитих емулзија експлозива	111
5.9. Процена утицаја на животни циклус УБС применом различити приступа уништавања.....	112
5.10. Систем квалификације опасности и имплементације ограничења REACH регулативе у софтверској методи USEtox.....	112
6. ЕКОЛОШКИ АСПЕКТИ ПРОЦЕСА ДЕМИЛИТАРИЗАЦИЈЕ И УНИШТАВАЊА УБОЈНИХ СРЕДСТАВА И НЕЕКСПЛОДИРАНИХ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА	117
6.1. Карактеристике УБС и локације на којима се могу наћи	117
6.2. Методе уништавања убојних средстава.....	118
6.3. Хипотезе	120
6.4. Анализа утицаја на животну средину	121
6.5. Утицај технологије производње и синтезе експлозивних материја и убојних средстава	125
6.6. Демилитаризација убојних средстава	126
6.7. Уништавање убојних средстава	128
7. ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКИ ПРОЦЕСИ ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА	135
7.1. Детонације чврстих хемијских експлозива.....	135
7.2. Материјали	136
7.3. Резултати	137
7.3.1. Предвиђање врсте производа детонације „TNT – СНЕЕТАН”	137

7.3.2. Укључивање хемијске кинетике коначне брзине за накнадно сагоревање TNT-а –.....	137
7.3.3. Предвиђање сагоревања продуката детонације TNT-а, путем апликације CHEMKIN.....	138
7.3.4. Предвиђени фактори емисије за TNT детонације.....	139
7.3.5. Предвиђање врсте производа детонације TNT:B:Mg – „CHEETAH”	139
7.3.6. Емисија CO ₂ , CO и CH ₄ приликом детонације чврстих експлозива.....	141
7.3.7. Елементи	142
7.3.8. Расподела PM честица	144
8. МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР	145
8.1. Методе за предвиђање токсичних материја сагоревања и детонације.....	145
8.2. Модел „ADORA”.....	145
8.3. Верзије модела	147
8.4. Резултати и дискусија	147
8.5. Индустриски пожар.....	148
8.6. Складишни пожар	149
8.7. Метода за предвиђање емисије „ADORA”	150
8.8. Метода за предвиђање емисије „ALOHA”.....	151
8.8.1. Модели за израчунавање „BLAST” ефекта из ватрене лопте.....	152
9. ПРОПИСИ КОЈИ РЕГУЛИШУ ПРОИЗВОДЊУ, МАНИПУЛАЦИЈУ, ТРАНСПОРТ, СКЛАДИШТЕЊЕ И УНИШТАВАЊЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА И ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА	155
9.1. Републички прописи из области технологије производње, манипулације, транспорта, складиштења и уништавања убојних средстава и експлозивних материја	155
9.2. Прописи Министарства одбране и Војске Србије при производњи, употреби, манипулацији, складиштењу, транспорту и уништавању убојних средстава и експлозивних материја	155
10. ДЕГРАДАЦИЈЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ У РАЗЛИЧИТИМ ФАЗАМА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА.....	157
10.1. Појам ризика загађења животне средине	157
10.2. Предвиђање притиска експлозије	188
11. МОДЕЛОВАЊЕ ЕМИСИЈЕ ПРОДУКАТА ПРИИКОМ САГОРЕВАЊА ИЛИ ДЕТОНАЦИЈЕ ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА.....	190
11.1. Процена еколошког ризика у случају удеса у постројењу	190
11.1.1. Моделовање ефекта удеса у постројењу.....	191
11.1.2. Студија случаја акцидента	191
11.1.3. Објекат 156, производни погон артиљерског програма	192
11.1.4. Анализа могућих отказа делова опреме или система у целини.....	195
11.1.5. Опис удеса који се може догодити	196

11.1.6. Утврђивање сценарија најгорег могућег обима удеса (сценарио који има катастрофалне последице по људе, животиње, животну средину, материјална и културна добра)	197
11.1.7. Анализа повредивости	201
12. ВРСТЕ ИЗВОРА ОПАСНОСТИ И ОСНОВНИ ПОДАЦИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОЦЕНУ УГРОЖЕНОСТИ ЕМИСИЈЕ УСЛЕД ХЕМИЈСКЕ ЕКСПЛОЗИЈЕ.....	205
13. УЗОРАК ИСПИТИВАЊА ЗАПОСЛЕНИХ.....	209
14. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА И ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА.....	211
15. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА МОДЕЛОВАЊА УПОРЕДНОМ АНАЛИЗОМ СОФТВЕРСКИХ АПЛИКАЦИЈА „ADORA” И „ALONA” И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ МЕРЕЊА.....	223
15.1. Експлозивни	223
15.2. Експериментално.....	224
15.3. Инструментација и метода анализа резултата експерименталног испитивања	225
16. РАЗВОЈ СТРАТЕГИЈСКОГ ПЛАНА ЗА СМАЊЕЊЕ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА ПРИЛИКОМ УНИШТАВАЊА И УПОТРЕБЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА НА ТЕРИТОРИЈИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ	243
16.1. Фаза 1: Припреме и прикупљање података.....	243
16.2. Фаза 2: Одређивање граничне количине експлозивне материје на основу прорачуна	243
16.3. Фаза 3: Израда Идејног Плана и пројекта синтезе еколошких експлозивних материја.....	243
16.4. Фаза 3: Дискусија резултата.....	243
17. ЗАКЉУЧАК.....	245
18. ЛИТЕРАТУРА.....	248
19. ПУБЛИКАЦИЈЕ КОЈЕ СУ ПРОИЗАШЛЕ КАО РЕЗУЛТАТ РАДА НА ПРЕДМЕТУ И ПОДРУЧЈУ ИСТРАЖИВАЊА.....	255
20. БИОГРАФИЈА.....	257
21. ПРИЛОЗИ.....	259
21.1. Прилог 1.....	259
21.2. Прилог 2.....	261
21.3. Прилог 3.....	265
21.4. Прилог 4.....	267
21.5. Прилог 5.....	271
21.6. Прилог 6.....	274
21.7. Прилог 7.....	276
21.8. Прилог 8.....	277
21.9. Прилог 9.....	278
21.10. Прилог 10.....	279

Списак табела

- Табела 2.1. Састав ваздуха у зависности од садржаја и карактеристика појединих елемената и једињења
- Табела 2.2. Садржај гасова у атмосфери
- Табела 4.1. Карактеристике живиног фулмината
- Табела 4.2. Карактеристике оловоазида
- Табела 4.3. Карактеристике оловотрирезорцината
- Табела 4.4. Карактеристике тетразена
- Табела 4.5. Карактеристике нитроцелулозе
- Табела 4.6. Карактеристике нитроглицерина
- Табела 4.7. Карактеристике пентаеритритол-тетранитрат
- Табела 4.8. Карактеристике тринитротолуена
- Табела 4.9. Карактеристике тетрила
- Табела 4.10. Карактеристике хексогена RDX
- Табела 4.11. Карактеристике октогена HMX
- Табела 4.12. Карактеристике нитрогванидина NGV
- Табела 4.13. Карактеристике триаминотринитробензен TATB
- Табела 4.14. Карактеристике хексанитростилбен HNS
- Табела 4.15. Састави и карактеристике емулзионих експлозива 1
- Табела 4.16. Састави и карактеристике емулзионих експлозива 2
- Табела 4.17. Преглед и трендови примене старих и нових експлозивних материја
- Табела 4.18. Састави и карактеристике једнобазних барута
- Табела 4.19. Састави и карактеристике двобазних барута
- Табела 4.20. Састави и карактеристике екструдованих топовских
- Табела 4.21. Састави и карактеристике тробазних барута 1
- Табела 4.22. Састави и карактеристике тробазних барута 2
- Табела 4.23. Концентрације и просечни пречници диспергованих честица
- Табела 4.24. Карактеристике и производи сагоревања појединих материја
- Табела 5.1. Утицај на животну средину по kg енергетског материјала
- Табела 5.2. Основни подаци о муницији 155 mm
- Табела 5.3. Емисија са места испаливања муниције 155 mm
- Табела 5.4. Емисија са места детонације муниције 155 mm
- Табела 5.5. Материјали и компоненте које се користе у производњи муниције калибра 9 mm
- Табела 5.6. Количина емисије приликом испалења четири врсте муниције калибра 9 mm
- Табела 5.7. Нормализовани утицај производње и употребе муниције малог калибра
- Табела 5.8. Инвентар за спаљивање и прераду гасова по kg TNTекв.
- Табела 5.9. Инвентар за производњу и транспорт опреме
- Табела 5.10. Резултати одлагања kg TNTекв. енергетског материјала
- Табела 5.11. Материјални биланс приликом производње емулзије експлозива
- Табела 5.12. Сигурна удаљеност приликом транспорта емулзије експлозива
- Табела 5.13. Пет алтернативних експлозивних композиција
- Табела 5.14. Утицај основног састава на енергију и животну средину
- Табела 5.15. Анализа утицаја енергије на животну средину са различитим емулзионим саставима
- Табела 5.16. Ограничења за физичко хемијска својства која карактеришу виртуелне супстанце
- Табела 5.17. Ограничења за физичко хемијска својства која се користе за стварање виртуелних супстанци
- Табела 5.18. Ограничења у складу са полувременима за осам виртуелних супстанци
- Табела 6.1. Методе уништавања и технолошки услови за примену
- Табела 6.2. Параметри који утичу на избор методе уништавања
- Табела 6.3. Просечне количине продуката при уништавању експлозивних материја по килограму експлозивне материје
- Табела 6.4. Емисија загађивача ваздуха изражена преко NO₂ – еквивалента
- Табела 6.5. Примена експлозивних материја у убојним средствима (УБС)
- Табела 6.6. Потенцијални ефекти експлозивних материја на људски организам
- Табела 6.7. Потенцијални ефекти експлозивних материја
- Табела 6.8. Технологија и продукти загађења

- Табела 6.9. Дозвољене количине малодимних барута за спаљивање једновремено
- Табела 6.10. Дозвољене количине бризантних и привредних експлозива за спаљивање једновремено
- Табела 6.11. Дозвољене количине стрељачке муниције и елемената убојних средстава за спаљивање једновремено у казанима
- Табела 6.12. Еколошки ризици приликом уништавања у току производног процеса и на краја животног циклуса, уништавањем на полигонима
- Табела 7.1. Композиција детонације у маси попуњењу
- Табела 7.2. Производи детонације за TNT у различитим фазама ослобађања енергије, како је предвиђено од СНЕЕТАН – а
- Табела 7.3. Предвиђени емисиони фактори за експлозије чистог TNT –а, грам емитованих врста по граму TNT
- Табеле 7.4. Производи детонације за TNT:Mg:B, у односу 80:4:16 по тежини у различитим фазама ослобађања енергије и производи реакционе стехиомерије 1
- Табеле 7.5. Производи детонације за TNT:Mg:B, у односу 80:4:16 по тежини у различитим фазама ослобађања енергије и производи реакционе стехиомерије 2
- Табела 7.6. Продукти РМ честица детонацијом TNT-а и TNT:Mg:B
- Табела 7.7. Емисиони фактори детонације TNT-а
- Табела 7.8. Емисиони фактори детонације TNT:Mg:B
- Табела 8.1. Поређење параметара модела „ADORA” и „ALOHA” на полигонима Америчке војске Dugway Proving Grounds
- Табела 8.2. Моделирање према категоријама опасности у апликацији „ALOHA”
- Табела 8.3. Константе уклапања криве за различите вредности „Маховог броја”
- Табела 10.1. Фактори сигурности
- Табела 10.2. Експериментално добијене вредности максималног надпритиска
- Табела 11.1. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска
- Табела 11.2. Погон пиротехнике и артифиција
- Табела 11.3. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска за Објекат број 23
- Табела 11.4. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска за Објекат број 51
- Табела 11.5. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска за Објекат број 61
- Табела 11.6. Приказ везе надпритиска и осетљивости/штете разних врсте објеката инфраструктуре
- Табела 12.1. Приказ нето количина експлозива по просторијама у Објекту 156 Погон „Артиљерије”
- Табела 13.1. Структура узорка по организацијским јединицама
- Табела 13.2. Структура узорка по полу
- Табела 13.3. Структура узорка према годинама радног стажа за средњу стручну спрему
- Табела 13.4. Структура узорка према годинама радног стажа за високу стручну спрему
- Табела 13.5. Структура узорка према степену стручне спреме
- Табела 14.1. Утицај пола на степен стручне оспособљености о негативним ефектима продуката емисије приликом сагоревања или детонације експлозивних материја на животну средину за лица са средњом стручном спремом
- Табела 14.2. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 1. посебне хипотезе
- Табела 14.3. Утицај упознавања и оспособљавања лица са средњом стручном спремом са нивоима концентрације емисије експлозивне материје приликом производње и уништавања од стране стручних лица на поштовање технолошког поступка и предузимање мера услед акцидента
- Табела 14.4. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 2. посебне хипотезе за оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица
- Табела 14.5. Утицај оспособљености из области заштите животне средине на практично спровођење мера заштите животне средине у опасном погону Компаније „Слобода” а.д. Чачак, поређењем средње и високе стручне спреме
- Табела 14.6. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 3. посебне хипотезе за оспособљавање лица са високом стручном спремом од стране стручног лица
- Табела 14.7. Утицај степена стручне оспособљености из области познавања законитости простирања ватреног облака и дисперзије продуката услед сагоревања или детонације не утиче на правилну израду технолошког поступка и прорачун максимално дозвољене нето количине експлозива у технолошком процесу рада и складишним просторијама и просторима
- Табела 14.8. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 4. посебне хипотезе за оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица
- Табела 14.9. Утицај оспособљености из области познавања експлозивне материје са аспекта емисије продуката у животну средину не утиче на смањење или елиминисање негативних

- продуката технолошког поступка у производњи и лабораторији експлозивних материја
- Табела 14.10. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 5. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица
- Табела 14.11. Утицај оспособљености из познавања метода уништавања експлозивних материја и убојних средстава (УБС) на отвореном на смањење или елиминисање негативних продуката приликом сагоревања или детонације експлозивне материје
- Табела 14.12. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 6. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица
- Табела 14.13. Утицај степена стручне спреме на поштовање технолошког поступка производње, складиштења, примене методе уништавања и оптимални ниво емисије испарења и продуката експлозивних материја у животну средину
- Табела 14.14. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 7. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица
- Табела 15.1. Прорачунски и експериментални резултати коефицијената емисије продуката детонације експлозива TNT и TNT/RDX (60/40%)
- Табела 15.2. Скала формирана од измерених резултата продуката емисије у функцији врсте и типа експлозивне супстанце
- Табела 15.3. Експериментални и прорачунати резултати коефицијената емисије TNT-а и производа детонације композиције „Б”
- Табела 15.4. Градијент расејања за коефицијенте емисије анализираних производа
- Табела 15.5. Приказ вишекритеријумске анализе модела „ADORA” за емисију продуката приликом детонације TNT^a
- Табела 15.6. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” E/A = 0.67 за емисију продуката приликом детонације TNT^a
- Табела 15.7. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” E/A = 0.25 за емисију продуката приликом детонације TNT^a
- Табела 15.8. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ADORA” за емисију продуката приликом детонације TNT/RDX (TNT/RDX 60/40%)^a
- Табела 15.9. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” 0.67 за емисију продуката приликом детонације TNT/RDX (TNT/RDX 60/40%)^a
- Табела 15.10. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” 0.67 за емисију продуката приликом детонације TNT/RDX (TNT/RDX 60/40%)

Списак слика

- Слика 2.1. Вертикална расподела слојева и температуре ваздуха у атмосфери
Слика 2.2. Вертикална структура атмосфере
Слика 2.3. Распростирање гасова по слојевима атмосфере
Слика 2.4. Градијент брзине слојева флуида изнад чврсте површине дуж правца који је нормалан у односу на правац кретања
Слика 2.5. Градијент притиска у ваздуху
Слика 2.6. Кретање ваздуха према копну и мору
Слика 2.7. Правац и смер дејства центрифугалне и центрипеталне силе
Слика 2.8. Приказ деловања Кориолисове силе
Слика 2.9. Идеална расподела површинског притиска и сталних гасова у атмосфери
Слика 2.10. Раст концентрације угљен-диоксида током деценија
Слика 2.11. Промена годишње средње температуре
Слика 2.12. Приказ апсорбционог дејства атмосфере на спектар зрачења са Сунца
Слика 2.13. Распростирање полутаната у атмосфери
Слика 2.14. Шематски приказ распростирања полутаната у простору
Слика 2.15. Гаусов модел димне перјанице са тачкастим извором загађења
Слика 4.1. Подела хемијских енергетских материја
Слика 4.2. Дегонациони талас (ДТ) и талас сагоревања (ТС)
Слика 4.3. Поређење процеса детонације и сагоревања
Слика 4.4. Приказ експлозије у простору
Слика 4.5. Структурна формула живиног фулмината
Слика 4.6. Живин фулминат
Слика 4.7. Структурна формула олово азида
Слика 4.8. Олово азид
Слика 4.9. Структурна формула оловотринитрорезорцината
Слика 4.10. Олово тринитрорезорцинат
Слика 4.11. Структурна формула тетразена
Слика 4.12. Олово тринитрорезорцинат
Слика 4.13. Структурна формула нитроцелулозе
Слика 4.14. Структурна формула нитроглицерина
Слика 4.15. Структурна формула пентаеритритол – тетранитрата
Слика 4.16. Структурна формула тринитротолуена
Слика 4.17. Олово тринитрорезорцинат
Слика 4.18. Правци истраживања и развоја прераде експлозива
Слика 4.19. Структурна формула тетрила
Слика 4.20. Тетрил
Слика 4.21. Структурна формула хексогена
Слика 4.22. Хексоген
Слика 4.23. Структурна формула октогена
Слика 4.24. Октоген
Слика 4.25. Структурна формула нитрогванидина NGV
Слика 4.26. Структурна формула триаминотринитробензен TATB
Слика 4.27. Структурна формула хексанитростилбена HNS
Слика 4.28. Структурна формула CL-20 – HNIW
Слика 4.29. Структура таласа сагоревања 1
Слика 4.30. Структура таласа сагоревања 2
Слика 4.31. Структура таласа сагоревања 3
Слика 4.32. Структура таласа сагоревања 4
Слика 4.33. Структура таласа сагоревања 5
Слика 4.34. Структура таласа сагоревања 6
Слика 5.1. Метода за израчунавање токсичности на здравље људи и токсичност екологије
Слика 5.2. Модел животног циклуса муниције
Слика 5.3. Главне компоненте и подсклопови метка 155 mm
Слика 5.4. Доприноси и утицаји продуката метка 155 mm на животну средину
Слика 5.5. Доприноси и утицаји продуката метка 155 mm на животну средину приликом испалења

- Слика 5.6. Доприноси и утицаји продуката метка 155 mm на животну средину приликом детонације
- Слика 5.7. Модел животног циклуса муниције малог калибра
- Слика 5.8. Четири калибра муниције са два различита пројектила и прајмера
- Слика 5.9. Поређења животног циклуса између четири врсте муниције калибра 9 mm (#1 челично оловни пројектил са оловним прајмером, #2 челично оловни пројектил без оловног прајмера, #3 композитни пројектил са оловним прајмером и #4 композитни пројектил без оловног прајмера)
- Слика 5.10. Утицаји четири врсте муниције калибра 9 mm у фази производње (#1 челично оловни пројектил са оловним прајмером, #2 челично оловни пројектил без оловног прајмера, #3 композитни пројектил са оловним прајмером и #4 композитни пројектил без оловног прајмера, напомена: абиотско исцрпљивање (kg Sb екв.), закисељавање (CO₂ екв.), еутрофикација (kg PO₄⁻³), глобално загревање (kg CO₂ екв.), оштећење озонског омотача (kg CFC-11 екв.)
- Слика 5.11. Утицаји четири врсте муниције калибра 9 mm током испаливања (#1 челично оловни пројектил са оловним прајмером, #2 челично оловни пројектил без оловног прајмера, #3 композитни пројектил са оловним прајмером и #4 композитни пројектил без оловног прајмера, напомена: абиотскоисцрпљивање (kg Sb екв.), закисељавање (CO₂ екв.), еутрофикација (kg PO₄⁻³), глобално загревање (kg CO₂ екв.), оштећење озонског омотача (kg CFC-11 екв.), фотооксидација (kg C₂H₄ екв.) случајеви канцера и без канцера и екотоксичност у PAF (m³/дан)
- Слика 5.12. Приказ удара муниције малог калибра који је еквивалентан просечном утицају по особи у ЕУ-27 (2010), израчунати коришћењем нормализованих фактора по особи.
- Слика 5.13. Дијаграм процеса демилитаризације
- Слика 5.14. Упоредни приказ спаљивања у стичкој пећи узимајући у обзир четири различите мешавине електричне енергије
- Слика 5.15. Утицај животног циклуса приликом детонације муниције калибра 155 mm на отвореном простору
- Слика 5.16. Дијаграм тока који представља валоризацију 1 kg TNT екв. енергетског материјала уградњом у привредне експлозиве
- Слика 5.17. Дијаграм тока који представља валоризацију 1 kg TNT екв. енергетског материјала уградњом у привредне експлозиве
- Слика 5.18. Дијаграм тока који представља производњу емулзије експлозива
- Слика 5.19. Допринос састојака емулзијског експлозива
- Слика 5.20. Поређење утицаја на животну средину применом уништавања убојних средстава поступком спаљивања (С) и процеса валоризације енергетског материјала из убојних средстава у цивилне сврхе
- Слика 5.21. Поређење утицаја на животну средину применом уништавања убојних средстава поступком спаљивања у статичкој пећи са третманом гасова и валоризације енергетског материјала у цивилне сврхе
- Слика 5.22. Алгоритам за израчунавање токсиколошких фактора карактеризације виртуелних супстанци
- Слика 5.23. Токсиколошки фактори карактеризације повезани са осам виртуелних супстанци у градском одељењу за емисију ваздуха
- Слика 5.24. Токсиколошки фактори карактеризације повезани са осам виртуелних супстанци у простору емисије за слатку воду
- Слика 5.25. Токсиколошки фактори карактеризације повезани са осам виртуелних супстанци у простору емисије за емисију тла
- Слика 5.26. Варијација токсиколошког фактора карактеризације виртуелне супстанце ED₅₀ према Хенријевом закону за урбани ваздух, слатку воду и природно тло
- Слика 6.1. Методологија процеса демилитаризације
- Слика 6.2. Уништавање пројектила великог калибра и нето количине експлозива на итвореном простору
- Слика 6.3. Уништавање убојних средстава на отвореном простору и ефекат на животну средину
- Слика 6.4. Спаљивање елемената убојних средстава у кацама
- Слика 6.5. Уништавање убојних средстава детонацијом у фугаси
- Слика 7.1. Композитна секвенца слика (два различита експеримента) која приказује фазе енергије ослобађање након иницирања 2,2 kg чврстог експлозива TNT

- Слика 7.2. „СНЕМКИН” прорачун за почетак формирања ватрене лопте за производе детонације TNT-а, при коришћењу реакционог механизма мешања са ваздухом у запреминско односу 1:1
- Слика 7.3. Температуна зависност почетка сагоревања за производе детонације TNT-а, у реакционом запреминском односу 1:1
- Слика 7.4. Резултати „СНЕМКИН” прорачуна у запреминском односу 1:1 продуката детонације TNT и ваздуха
- Слика 7.5. Продукти детонације PM честица детонацијом TNT-а и TNT:Mg:B.
- Слика 7.6. Елементи који су производ детонације TNT-а и TNT:Mg:B.
- Слика 7.7. Расподела PM честица током прва три минута детонације TNT:Mg:B.
- Слика 8.1. Облик облака
- Слика 8.2. Динамика простирања облака од иницијалног пожара
- Слика 8.3.a Температура облака у функцији времена (а)
- Слика 8.3.б Температура облака у функцији удаљености (б)
- Слика 8.4.a Надпритисак експлозије из облака
- Слика 8.4.б Максимални топлотни ток из облака
- Слика 8.5. Временски зависна температура и хемијски састав облака
- Слика 8.6.a Облик концентracије HF
- Слика 8.6.б Садржај концентracије HF
- Слика 8.7. Температура и хемијски састав облака услед пожара
- Слика 10.1. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије за просторију просејавање и допрема експлозива
- Слика 10.2. Графички приказ нивоа концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије за просторију просејавање и допрема експлозива
- Слика 10.3. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације за просторију просејавање и допрема експлозива
- Слика 10.4. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у процесној хали
- Слика 10.5. Графички приказ новог концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у процесној хали
- Слика 10.6. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у процесној хали
- Слика 10.7. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива
- Слика 10.8. Графички приказ новог концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива
- Слика 10.9. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива
- Слика 10.10. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама
- Слика 10.11. Графички приказ новог концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама
- Слика 10.12. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама
- Слика 10.13. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у погону за сечење експлозива
- Слика 10.14. Графички приказ новог концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у погону за сечење експлозива
- Слика 10.15. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за сечење експлозива
- Слика 10.16. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у дневном магацину експлозива
- Слика 10.17. Графички приказ новог концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у дневном магацину експлозива
- Слика 10.18. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у дневном магацину експлозива
- Слика 10.19. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила
- Слика 10.20. Графички приказ нивоа концентracије продуката у односу на удаљеност од центра експлозије експлозије у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила

- Слика 10.21. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозије у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила
- Слика 10.22. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу погону за лакирање пројектила
- Слика 10.23. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у погону за лакирање пројектила
- Слика 10.24. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за лакирање пројектила
- Слика 10.25. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу дневном магацину упаљача и топовских каписли
- Слика 10.26. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у дневном магацину упаљача и топовских каписли
- Слика 10.27. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у дневном магацину упаљача и топовских каписли
- Слика 10.28. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу погону за лабораторију паковање и комплетирање муниције
- Слика 10.29. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозијеу погону за лабораторију паковање и комплетирање муниције
- Слика 10.30. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за лабораторију паковање и комплетирање муниције
- Слика 10.31. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у дневном магацину барута у барутних пуњења
- Слика 10.32. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у дневном магацину барута у барутних пуњења
- Слика 10.33. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у дневном магацину барута у барутних пуњења
- Слика 10.34. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак
- Слика 10.35. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак
- Слика 10.36. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак
- Слика 10.37. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава
- Слика 10.38. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава
- Слика 10.39. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозије експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава
- Слика 10.40. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава
- Слика 10.41. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава
- Слика 10.42. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава
- Слика 10.43. Слика улазног интерфејса за предвиђање токсичности тринитротолуена –TNT
- Слика 10.44. Приказ излазног интерфејса са прорачунатим подацима о токсичности тринитротолуена – TNT
- Слика 10.45. Приказ излазног интерфејса са прорачунатим вредностима токсичностима по врстама болести за тринитротолуен - TNT
- Слика 10.46. Линијски распоред магацина за смештај убојних средстава типа „ИГЛО”
- Слика 10.47. Ширење ударног таласа
- Слика 10.48. Притисак ударног таласа
- Слика 10.49. Притисак ударног таласа на објекте инфраструктуре
- Слика 10.50. График дистрибуције надпритиска ударног таласа
- Слика 11.1. Погон артиљерије са обележеним зонама утицаја

- Слика 11.2. Погон артиљерије са црвеном зоном утицаја
- Слика 11.3. Погон артиљерије са наранџастом зоном утицаја
- Слика 11.4. Погон артиљерије са жутом зоном утицаја
- Слика 11.5. Објекат број 23 са обележеним осетљивим утицаја
- Слика 11.6. Објекат број 51 са обележеним осетљивим утицаја
- Слика 11.7. Објекат број 61 са обележеним зонама утицаја
- Слика 11.8. Зоне угрожености надпритиском у посматраним погонима Комплекса предузећа Компанија „Слобода” а.д. Чачак
- Слика 12.1. Основни елементи хемијског удеса експлозивне материје
- Слика 12.2. Шематски приказ врсте удеса у односу на тип извора емисије: 1) тренутни запремински извор, 2) тренутни линеарни извор, 3) континуални запремински извор; 4) континуални линеарни извор
- Слика 15.1. Дијаграм расејања коефицијента емисије за CO_2
- Слика 15.2. Дијаграм расејања коефицијента емисије за CH_4
- Слика 15.3. Дијаграм расејања коефицијента емисије за CO
- Слика 15.4. Дијаграм расејања коефицијента емисије за NO_2
- Слика 15.5. Дијаграм расејања коефицијента емисије за THMX
- Слика 15.6. Дијаграм расејања коефицијента емисије за C_6H_6
- Слика 15.7. Дијаграм расејања коефицијента емисије за NO
- Слика 15.8. Емисиони коефицијенти TNT-а – мерено и израчунато („ADORA”)
- Слика 15.9. Коефицијенти емисије TNT-а – мерени и израчунати („ALOHA” $E/A = 0,43$)
- Слика 15.10. Емисиони коефицијенти TNT-а – мерени и израчунати („ALOHA” $E/A = 0,25$)
- Слика 15.11. Емисиони коефицијенти композиције „Б” – мерено и израчунато („ADORA”)
- Слика 15.12. Емисиони коефицијенти композиције „Б” – измерени и израчунати („ALOHA” $E/A = 0.67$)
- Слика 15.13. Емисиони коефицијенти композиције „Б” – измерени и израчунати („ALOHA” $E/A = 0.43$)

Скраћенице:

U.S.EPA – U.S. Environmental Protection Agency (Америчка агенција за заштиту животне средине)

УБС – убојна средства

Пројектил – врх метка који се након иницијације одваја од чауре и лети под утицајем кинетичке енергије до циља

НУС – пропратан или споредни производ хемијске реакције

NATO – North Atlantic Treaty Organisation, Организација северноатланског савеза

NIST – National Institute of Standards and Technology, US Department

ОВ – open burning, сагоревање на отвореном простору

ОД – open detonation, експлозија или детонација на отвореном простору

BLAST – Baseball, a long and hard-hit fly ball (ударни талас експлозије)

BST – Binary Search Tree software, софтвер

НКЕ ЕТНТ – нето количина еквивалента експлозива TNT

TNT екв. – еквивалентна количина експлозива TNT

PM – particulate matter, суспендоване честице

1. УВОД

Загађење животне средине угрожава опстанак живих бића на земљи без обзира на извор који генерише продукте загађења. Концентрација и нивои загађења се повећавају из дана у дан, узимајући у обзир напоре на глобалном нивоу за смањење емисије. Да би се предузеле адекватне мере и спречило даље загађење, уништавање природних ресурса и спречило изумирање појединих врста, морају се примењивати радикалне мере за спречавање загађења, у свим гранама и делатностима. У овој докторској дисертацији израђена је студија случаја реалних утицаја експлозивних материја и убојних средстава током животног циклуса на животну средину, првенствено са аспекта уништавања на отвореном простору. Извршен је прорачун и симулација утицаја сагоревања и детонације експлозивних материја и убојних средстава на конкретним студијама случаја у фабрици наменске индустрије Компанија „Слобода” а.д. Чачак и складишту муниције Војске Србије у Луњивици, Општина Горњи Милановац. Након вишекритеријумске анализе, нумеричког моделовања и корелације постојећих софтверских пакета програма „ADORA” и „ALOHA” са добијеним и измереним резултатима у лабораториским и полигонским условима, дате су препоруке за предузимање мере, почев од Законских основа, преко освајања технологије, а све у циљу одржавања равнотеже и очувања радног и животног простора.

1.1. Предмет истраживања

Квалитет живота на планети Земљи превасходно зависи од квалитета животне средине и начина на који се човек односи према њој. Стање животне средине изражава се различитим показатељима квалитет три неодвојиве целине, то јест ваздуха, воде и земљишта. Да би се остварио крајње жељени циљ очувања и побољшања квалитета животне средине потребно је активно учешће и глобални допринос на светском нивоу. У овој докторској дисертацији биће, путем нумеричке анализе параметара загађујућих супстанци у ваздуху, извршена оптимизација емисије полутаната насталих у процесу сагоревања и детонације убојних средстава (УБС). Процес оптимизације биће спроведен у три корака применом:

- нумеричке анализе параметара,
- предвиђања емисије и загађења ваздуха полутантима насталим у различитим фазама животног циклуса и
- упоредне анализе резултата добијених применом софтверских пакета „ALOHA” и „ADORA” за предвиђање емисије полутаната и измерених параметара у лабораторијским и полигонским условима, ради утврђивања прецизности тачности одређивања нивоа концентрације и зона дисперзије загађујућих полутаната.

Директивом Европске уније и Женевском конвенцијом испостављена је бројним емитерима обавеза предвиђања емисија полутаната за више година унапред. Тиме изналажење модела предвиђања емисије загађујућих супстанци постаје неопходност. Циљ предвиђања је континуирано или сегментно праћење параметара након извршавања различитих процеса током животног циклуса како би се предузеле адекватне мере за смањење или потпуно неутралисање негативног утицаја.

Загађење ваздуха настаје под утицајем емисије загађујућих супстанци из разних извора; почев од индустријских процеса, термоенергетских постројења, саобраћаја, пољопривредних активности, па до сагоревања фосилних горива у приватним домовима. Бројни полутанти доспевају у ваздух и услед емисије супстанци насталих у процесу сагоревања и детонације током производње убојних средстава у наменској индустрији, складиштима Војске Србије и полигонима наменске индустрије и Војске Србије. Емисијом полутаната у ваздух не настаје само загађење ваздуха већ се доприноси и климатским променама, односно глобалном загревању.

Предмет ове дисертације је отуда развој модела за оптимизацију емисије бројних полутаната који настају у процесу сагоревања и детонације УБС. Међу њима су: угљен диоксид, угљен моноксид, азотни оксиди, амонијак, сумпор диоксид, угљен-дисулфид жива, амонијак, хлороводонична киселина, хафнијум, формалдехид, ацетонитрил, ацеталдехид, бензен, етилбензен, ацеталдехид, ацетонитрил, ацетофенон, бензен, берилијум, хлорометан, етилбензен, етен, формалдехид, метилен хлорид, 2-метилнафтален,

нафтален, нитроглицерин, тешки метали и диоксини.

Приликом развоја модела оптимизације узети су у обзир као улазне независне променљиве: нето количина експлозивне материје, температура, влажност, брзина ветра, агрегатно стање експлозивне материје или погонског горива и излазне зависне променљиве нелинеарно повезане емисије различитих полутаната, њихових концентрација, те зона дисперзије као резултат моделовања фактора емисије који утичу на предвиђање загађујућих материја.

Загађење ваздуха је највише изражен и доминантан у најразвијеним земљама, али сагледавањем параметара последњих година долази се до чињенице да је огроман раст загађења погодио и земље у развоју због нагомилавања убојних средстава која су претрпела удес, механичка оштећења, имала отказ функције на циљу или су убојна средства на крају животног циклуса.

1.2. Карактеристике убојних средстава и локације

Стање и микроклиматски услови су најважнији параметри у процени приоритетних УБС за уништење, узимајући у обзир вероватноћу нежељених ефеката приликом детонације. Као последица отказа функције на циљу, УБС могу бити у армираном или полуармираном положају, на површини земље, у земљи или води изложена атмосферским утицајима, представљају опасност јер су небезбедна за употребу, транспорт и манипулацију. Поред наведеног треба извршити анализу локације на којем се налази УБС:

- погонима за производњу и ремонт УБС,
- погонима за производњу експлозивних материја и пиротехничких смеша,
- полигони за уништавање УБС,
- полигони за испитивање УБС,
- стрелишта,
- полигони за обуку и
- локације загађене НУС после ратних дејстава или обуке.

1.3. Методе уништавања убојних средстава

Развијене земље света примењују најекономичније, софистициране и еколошки прихватљиве методе и технике демилитаризације, односно уништавања УБС. Слабије развијене и неразвијене државе, с друге стране, користе најједноставније технике, са неприхватљивом емисијом полутаната у животну средину. Методе уништавања могуће је сврстати у три основне групе:

- класичне методе,
- допунске методе и
- експерименталне методе.

Најједноставнија и економски најприхватљивија метода уништавања је спаљивање и детонација на отвореном простору, али због еколошки неприхватљивих емисија у неким земљама су забрањене ([Mitchell et al., 1997](#)).

Еколошки прихватљиве алтернативне методе уништавања представљају спаљивање и детонација у детонационој комори. Приликом доношења одлуке о избору методе уништавања морају се сагледати аспекти безбедности, логистичке подршке и економије. Сагледавају се у том смислу следећи критеријуми:

1. Технологија мора да обезбеди потпуну уништење муниције, експлозивних материја и пиротехничких компоненти,
2. Емисија продуката не сме имати неприхватљиве последице на животну средину и мора обезбедити безбедност за људе и околину уз обавезну мерење стања емисије,
3. Технологија мора бити економски оправдана са минималном потрошњом енергије и минималним отпадом,

4. Комбинацијом технологија мора се обезбедити уништење више врста УБС и
5. У случајевима када је небезбедна било каква манипулација и транспорт УБС, потребно је уништавање извршити безбедно на лицу места.

Применом савремених технологија и конструкционих једињења може се обезбедити безбедно, економично, једноставно и еколошки прихватљиво уништавање.

1.4. Анализа утицаја на животну средину

Применом методе уништавања спаљивањем и детонацијом на отвореном простору, могу се јавити последице по животну средину због ослобађања тешких метала као што су: олово, антимон и баријум, затим токсичних гасова у продуктима сагоревања, односно детонације и то: HCl, CO, NO, NO₂ и HCN, који загађују животну средину. Количина емисије продуката сагоревања и детонације варира у распону од 30 до 45 mol/kg. Упоредивањем савремених метода са методом сагоревања и детонације на отвореном, утврђено је да емисија токсичних азотних оксида и угљен монооксида већа и до десет пута (*Handbook on the Management of Munitions Response Actions*, 2005).

Сагледавајући све факторе утицаја не може се извести закључак да људство које живи близу места уништавања изложено повећаном ризику оболења од канцерогених болести и тровање тешким металима. На ризик по здравље и животну средину додатно утичу и састојци експлозивних материја и хемијски компоненти, укључујући олово, живу и остале примесе које настају приликом уништавања.

Мерење загађења ваздуха при различитим методама уништавања. Утврђено је да ниједна метода не испуњава прописане стандарде Европске уније за заштиту животне средине, пре свега због емисије азотних гасова. Додавањем одређених примеса током процеса уништавања, као што је на пример уреа, могу се испунити услови стандарда.

1.5. Верзије модела оптимизације

Коришћење модела је разнолико, зато што неки истраживачи не мере пораст и узгон облака, други мере хемијски састав док трећи токсичну дисперзију. На основу претходно наведеног, направљене су различите верзије. Хемијске реакције у облацима које су настале под утицајем пожара, или експлозије, одвијају се на сличан начин. Предмет анализе су само хемијске детонације пуњења приближно до 1000 kg експлозивне материје, у САД на полигону Dugway Proving Grounds или DPG, тестови по 10 kg експлозивне материје у Невади ([Watkins et al., 2000](#)).

Узимајући у обзир количине експлозивних материја детонираних у једном тренутку, параметре околине, влажност, те надморску висину, могу се одредити динамика, састав облака и приноси производа реакције. Резултати мерења, доступни на основу анализе литературних података. Процент предвиђања је одличан јер је 26 од 28 предвиђања дало одличне параметре. У резултатима су приказана и поређења са осталим прихватљивим моделима и дата упоредна одступања као што је модел „ALONA”. За разлику од модела „ADORA”, модел „ALONA” користи полуемпиријске формуле пораста облака и константан проток количине продуката емисије. Поједностављење модела доводи до извесних недостатака као што су:

- уколико се сложена реакција са компонентама и фазама поједностави у неколико корака није познат обим реакције и врсте које су токсичне,
- предвиђање производа реакције, не узимајући у обзир брзину увлачења спољњег ваздуха и температуру облака,
- занемарује се динамика узгонског облака већ се прихвата теорија тренутног ослобађања топлоте и
- кључни рецептор може бити близу места ослобађања да облак пролази поред пре завршетка реакције и занемаривање токсичних материја кретањем облака.

1.6. Методологија

За предвиђање емисије загађујућих материја у ваздуху у овој дисертацији биће увршћен и модел за емисију возила у функцији моделирања саобраћајних токова у уличној мрежи. У овој докторској дисертацији се приступ моделовању предвиђања емисије полутаната темељи на примени вишекритеријумске анализе, где ће бити узети у обзир различити, већ моменутни фактори, оји утичу на динамику емисије загађујућих супстанци из УБС. У овом истраживању биће праћене концентрације бројних загађујућих супстанци међу којима су: угљен моноксид, угљен диоксид, метан, бензен, неметанска испарљива органска једињења, азотни оксиди и гасови стаклене баште.

Основни циљ ове дисертације је израда модела за предвиђање емисије загађујућих супстанци ради одрживог управљања УБС у различитим фазама њиховог животног циклуса; посебно када се ради о њиховом уништавању сагоревањем и детонацијом. Систематичност рада се огледа у сагледавању тренутних емисија и предвиђању емисија загађености у наредном периоду на микро нивоу, односно полигонима одабраним за уништавање УБС. У раду ће бити детаљно објашњен принцип моделовања, предвиђање и симулација модела у реалним условима.

Применом вишекритеријумске анализе у сврху сагледавања различитих критеријума – *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) – развијене су бројне методе. У предметној дисертацији биће коришћене нумеричке анализе за оптимизацију резултата добијених симулацијом реалне ситуације према задатим хипотезама у софтверским пакетима „ADORA” и „ALONA” и реално измерених резултата у лабораторијама и полигонима за уништавање убојних средстава.

Вишекритеријумском анализом биће обухваћени кључни параметри емисије у ваздуху под истим условима испитивања, добијених наведеним методама. На основу тога биће изведен закључак о прецизности и тачности добијених резултата, поређењем реално измерених параметара у планираним (контролисаним) условима активирања и уништавања.

Поред оптимизације фактора емисије који утичу на предвиђање емисије услед сагоревања и детонације убојних средстава биће обављено и анкетирање припадника предузећа наменске индустрије за производњу убојних средстава на задату тему са стручног аспекта и аспекта спровођења мера за смањење утицаја или неутрализације ефеката у реалним ситуацијама. Анкетирањем ће бити, водећи рачуна о заступљености запослених према степену стручне, више од 30% запослених лица.

Доношењем међународних обавезујућих прописа о обавезним активностима држава потписница и мреже станица за мерење параметара емисије загађујућих супстанци, које утичу на глобално загревање, здравље људи, начин живота и одрживост животне средине, направљени су потребни кораци који доводе до решења, односно до начина за превазилажење проблема загађења ваздуха и животне средине. Тема докторске дисертације ће бити дефинисана под називом:

Да би се могли реализовати остали глобални и интересни циљеви, мора се пре свега решити круцијални проблем опстанка човечанства и живота на земљи, а то је проблем загађења ваздуха, односно животне средине. Проблем ће увек егзистирати, али ће се моћи контролисати и држати у границама дозвољеног уколико се поштују све мере за смањење, односно елиминисање претходно направљених погрешних поступака. Смањење емисије подразумева корекцију начина рада и живота, односно уопште свести човека на ниво који обезбеђује одрживи развој.

Природа је створила и подарила човеку много ресурса који су му били на располагању вековима и деценијама у новијој историји. Неки ресурси су обновљиви, неки нису. Али неусклађеност потреба са модерним животом, технологијама, стварањем вештачких ресурса који су контрапродуктивни очувању природних ресурса, доприносе еколошкој кризи.

Индустрија мора бити конципирана на тај начин да сваки нови производ, роба или услуга буде конструисана и произведена на еколошки прихватљив начин, узимајући у обзир да и рециклажа мора бити еколошки прихватљива и финансиски прихватљива уз минимално трошење ресурса. Политика

привреде у Републици Србији мора да тежи ка што чистијој технологији, односно технологији која је прихватљива са аспекта заштите животне средине или у супротном ћемо добити контрапродуктиван рад индустријског развоја и заштите животне средине. То се односи и на дневне активности и специфичне активности Војске Србије. У оквиру ове докторске дисертације је тежиште на анализи војног сектора као емитера полутаната насталих у активностима са запаљивим и експлозивним аматеријама.

Да би се остварио крајњи циљ (смањење нивоа загађења ваздуха или где је то могуће и елиминисање) неопходно је подизање еколошке свест људи на потребан ниво. То се може постићи организацијом едукативне наставе, преко средстава јавног информисања, регионалних менаџера животне средине или инспектора за заштиту животне средине.

1.7. Циљеви истраживања

Циљ ове докторске дисертације је сагледавање негативног утицаја продуката насталих услед експлозије или детонације експлозивних материја или убојних средстава, током животног циклуса. Метода уништавања на отвореном простору процесом сагоревања или детонације убојних средстава не подразумева само контролисано активирање на полигонима за уништавање убојних средстава и експлозивних материја, већ и акциденте који настају из различитих разлога у фабричким постројењима и складишним просторима. Највећи обим и ефекат негативног утицаја настаје услед акцидентата у фабричким постројењима, складиштима муниције и полигонима за уништавање убојних средстава, јер су присутне максимално дозвољене нето количине експлозива, што је и предуслов за испитивање екстремних околности у студији случаја.

Негативне последице биће сагледане преко утицаја на животну средину, без ефеката разорне моћи ударног таласа. Предмет докторске дисертације је студија случаја акцидента у фабричким постројењима предузећа Компанија „Слобода” а.д. Чачак и складишту убојних средстава „Луњевица” код Горњег Милановца са максимално дозвољеним нето количина експлозива, путем нумеричке анализе у софтверском пакету ALOHA. Нумеричком анализом биће направљен прорачун домета и негативних ефеката продуката услед сагоревања и детонације са приказом руже ефеката и зона утицаја и концентрација продуката у односу на епицентар експлозије.

Поред наведених студија случаја, путем нумеричке анализе и максимално дозвољених нето количина експлозива по објектима, постројењима технолошким линијама и операцијама, биће урађен прорачун и приказ ефеката у случају акцидента услед поремећаја регулаторног тока технолошког процеса. Ефекти би требало да прикажу зоне утицаја високе концентрације, средње и мале концентрације продуката, домет распрострања продуката концентрације и јачину ударног таласа, односно надпритиска.

Утицај интензитета ударног таласа биће анализиран са аспекта могућности разарања баријере између погона и технолошких целина, ради утврђивања могућности преноса и прихватања детонације са једне на другу технолошку операцију.

Утврђивање концентрације продуката, негативни ефекти и домет распрострања облака након сагоревања и детонације се може вршити применом различитих софтвера ради обраде података. У овом раду спровешће се и упоредна анализа постојећих софтверских пакета попут софтверског пакета „ALOHA” и „ADORA”, како би се утврдила прецизност, тачност, поузданост и могућност предвиђања и моделовања симулирањем реалних услова. Моделовање штетних утицаја експлозивних материја и убојних средстава при сагоревању и детонацији на отвореном простору биће усмерено на анализу студија случаја ефеката емисије продуката у ваздуху.

2. КОНЦЕПТ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Са аспекта потреба живих бића на планети, животна средина представља простор са условима за животне потребе са расположивим природним и антропогеним ресурсима. Користећи благодети животне средине које је природа пружила човек са осталим живим бићима, враћа кроз отпадне материје које настају коришћењем и прерадом природних ресурсима, у облику који је веома тешко или не тако ретко чак немогуће прерадити.

2.1. Појам животне средине

Животна средина пружа потребне сировине за живот и опстанак, чиме се ствара нераскидива спона природе са живим бићима. Узимајући у обзир напред наведено, животна средина се може посматрати као систем повезаних средина као што су: природна средина, социјална средина, производна средина, културна средина, васпитно-образовна и информативна средина. Подсистеми животне средине се са аспекта научног истраживања проучавају као:

- *антропогена средина*, представља природну средину која је промењена под утицајем људских активности;
- *квазиприродна средина*, представља систем који је преуредио човек стварајући иновативни пејзаж од природних материјала са засадима биљних култура;
- *урбана средина*, представља комбинацију природних и грађевинско-архитектонских форми;
- *стамбена средина*, представља услове живота у стамбеним просторијама, праћени техничко-технолошким развојем;
- *културна средина*, представља средину са условима материјално духовне сфере живота;
- *средина насељених места*, представља урбану градску и сеоску средину са комбинацијом вештачки створених животних услова;
- *радна средина*, представља средину са физичко-хемијским и биолошким условима у производним погонима;
- *социјално-психолошка средина*, представља односе између људи који обухватају и степен разумевања и поштовања једних према другима и
- *социјално-економска средина*, представља однос између људи, материјалних и културних вредности.

Под људским утицајем животна средина се мења у два супротна смера:

- под утицајем стваралачких делатности са антропогеним елементима, која не тако ретко имају негативан утицај према природи, проузроковајући сурове климатске услове, елементарне непогоде, заразне болести и итд. и
- непромишљени утицаји на природне појаве, изградњом грађевинско индустријских објеката и пословних објеката не обазирјући се на непрекидне процесе у природи, што доводи до деградације природних услова, односно животне средине.

2.2. Појам атмосфере

Атмосфера (од грчких речи: *atmos* – пара; *sphaira* – лопта) представља ваздушни, односно гасовити омотач који окружује планету Земљу. Облик омотача прати облик планете Земље и заједно са планетом се окреће око њене осе и уједно око Сунца, у смеру запада ка истоку. Атмосфера служи да прими сунчеве зраке, задржи одређену количину топлоте и да заштити површину планете Земље од расхлађивања. Поред тога служи као заштита од космичких и сунчевих ултравиолетних зрака свим живим бићима на планети. У атмосфери се налази смеша разних гасова који су у природном равнотежном стању, под утицајем силе гравитације. Неопходна количина кисеоника и угљен диоксида за живот на планети проистиче из атмосфере. Она омогућава кружење воде у природи, на основу чега произилазе различити облици метеорских и копнених вода на површини Земље. Осим наведених гасова у састав атмосфере улазе и честице прашине, бактерија, разних соли, капљица воде и кристала снега. Представља идеалан природни заштитни оклоп у који улазе милијарде метеора које она преображава и директно штити живи свет на земљи од евентуалних удара. Уколико би планета Земља остала без атмосфере дошло би до екстремног пораста температуре са великим дијапазоном одступања вредности у току дана и у току ноћи. Без утицаја атмосферског омотача планета Земља би изгледала попут Месеца.

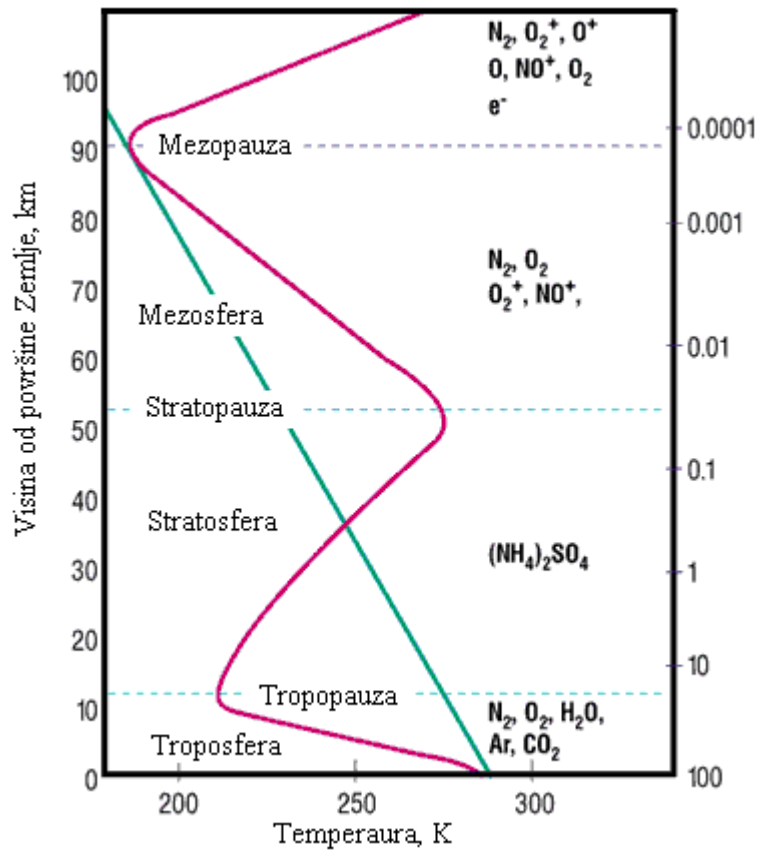
Доњу границу атмосфере чини површина планете Земље, а горњу границу омотача се не може прецизно одредити због благог преласка у безваздушни простор. Према званичним показатељима граница између атмосфере и свемира је изнад полова на висини од 21644 km, а изнад екватора на висини од 35711 km. Од укупне масе атмосфере, процењује се да се 90% налази на висини до 16 km, 75% на висини до 10 km, а 50% на висини изнад 5 km. У безваздушном простору су изједначене сила земљине теже и центрифугална сила па гасовите честице могу слободно да лете ка безваздушном простору (Dukić, 1981; Stalveski, 2004).

Атмосфера представља гасовити омотач планете Земље, чија процењена маса износи $5,157 \cdot 10^{15}t$, што представља далеко мању масу у односу на масу Земље, чија процењена вредност износи $5,98 \cdot 10^{21}t$. Узимајући у обзир да се састав Земљине атмосфере разликује од атмосфера осталих планета, јавља се неизоставна потреба за давањем адекватне теорије објашњења за њено формирање. Наиме преовлађујуће мишљење научника је да је Земља настала агломерацијом чврстих делова или да су се гасови образовани у првобитној атмосфери ишчезли по образовању Земље. На основу наведеног тумачења произилази и тврдња да је планета Земља била једно кратко време без атмосфере након свог формирања. Атмосфера која је формирана настала је као производ ерупција активних супстанци из унутрашњости, укључујући и вулканске активности. Ради разумевања настанка атмосфере, може допринети и информација да су остале компоненте система укључују: хидросфера (укупна водена маса испод и изнад површине земље), биосфера (биљни и животињски систем) и седиментни део литосфере (Земљина кора). Маса испарљивих компоненти система је 0,025% од Земљине масе, а маса атмосфере износи свега 1/300 део од масе хидросфере.

Првобитне активности вулкана су избацивале велике количине водене паре у атмосферу, чињеница на основу чега су настали облаци и кише, односно вода на површини Земље. Хидросферу чине: океани са уделом од 97%, лед са уделом од 2,4%, подземне воде са уделом од 0,6%, реке и језера са уделом од 0,02% и атмосфера са уделом од 0,001%.

2.2.1. Слојеви атмосфере

Атмосфера се може поделити на *тропосферу*, *стратосферу*, *мезосферу* и *термосферу* Слика 2.1. Између слојева се налазе тзв. паузе *тропопауза*, *стратопауза*, *мезопауза*, *термопауза* и *егзопауза*.



Слика 2.1. Варијације притиска (права линија) и температуре (изломљена линија) са висином (Vukovic i Štrbac, 2011: pp 80)

Тропосфера представља слој који садржи највећи проценат водене паре, облака и падавина, односно воде у свим облицима чини око 80% у односу на укупну атмосферу. Највеће промене и турбуленције се дешавају у тропосфери, јер у току поремећаја средине под утицајем спољне силе као што су непогоде, честице од Земљине површине до тропоспаузе могу да сигну за временски период од неколико минута. Аеросоли које се нађу у тропосфери због велике турбуленције могу да се задрже просечно од неколико часова до неколико дана. Утицај саме површине Земље на стање у атмосфери се простире до границе тропосфере. Сам гранични слој атмосфере се простире уз саму површину Земље и путем турбуленције прима топлоту и воду која допире са Земље. Дебљина слоја варира јер под утицајем топлог ваздуха са површине Земље у току дана, топлота се предаје у атмосферу која је хладнија. На основу механизма конвенције долази до повећања дебљине слоја до 2 km, за разлику од ноћи када топао ваздух из атмосфере, много мањег капацитета иде ка хладнијој Земљиној површини и смањује могућност мешања честица, а слој се тада простире на раздаљини до 100 m од површине Земље. Гранични слој атмосфере под утицајем колебања топлоте ваздуха, током смене дана и ноћи, пулсира, јер се дебљина слоја мањује и повећава. Честице које се нађу у граничном слоју под утицајем температурне дилатације могу да циркулишу у хоризонталном правцу и до 100 km. Погранични слој атмосфере може пулсирати у хоризонталном и вертикалном правцу око 2 km, односно 100 km током временског период од 24 часа.

Турбуленција у граничном слоју, је малих размера, под утицајем храпавости подлоге Земљине коре и конвенције. Испод овог слоја налазе се још два слоја, чије су размере директно пропорционалне димензијама храпавости подлоге. Први слој, слој храпавости је два, три или више пута већи од елемента подлоге као што је: трава, вођњак, дрвеће, објекти инфраструктуре, урбани објекти и остали објекти. Испод храпавог слоја налази се ламинарни гранични слој, чија дебљина износи неколико милиметара и у њему нема турбуленције. На граничном прелазу из тропосферу у стратосферу, долази до нагле промене концентрација компонената која се иначе у атмосфери налази у траговима. Веома слабо се мешају

стратосферски сув и озоном богат ваздух са влажним и озоном слабо снабдевен тропосферски ваздух. Честице које су настале као производ активности вулкана и нуклеарних експлозија су заступљеније него у тропосферском слоју. Честице које доспеју у стратосферу по било ком основу могу да се задрже и неколико година. Атмосферско загађење се акумулира у слоју стратосфере (Kovačević et al., 2004).

Стратосфера је слојевита атмосфера у којој је занемарљиво мешање честица. Аеросоли се унутар слоја задржавају дужи период времена на одређеној висини. У области стратопаузе притисак је свега 1 mb у односу на притисак на површини Земље који износи око 1000 mb.

Мезосфера је средња сфера је слој који се поклапа са доњим слојем *јоносфере* у којој се појављује *поларна светлост*. Температура опада са висином, а вертикална кретања нису ограничена.

Термосфера се простире до 500 km, где температура под утицајем Сунчевог зрачења достиже од 500 °C до 2000 °C у зависности од активности Сунца. У завршном слоју термосфере, односно термопаузи је константна температура тзв. *изотермија*. На висини изнад 500 km, није могуће дефинисати вредност температуре због изузетно ретких молекуларних судара. Ван граница *магнетосфере* температуру околног простора дефинишу *соларни ветрови* (Mihailović, 2017).

2.2.2. Састав атмосфере

Састав атмосфере чине четири компоненте у ваздуху: 1) кључни гасови, 2) мање заступљени гасови, 3) незасићени и нестабилни молекули и 4) аеросоли.

Кључни гасови који улазе у састав атмосфере су: азот (N₂), кисеоник (O₂) и аргон (Ar) који су постојани и чија концентрација превађује до висине од 100 km. Такође у састав се рачуна и количина водене паре која је значајно мањег реда величине у односу на наведене гасове и чији се садржај мења у времену и простору.

Мање заступљени гасови су хемијски стабилни, али су присутни у ниским концентрацијама. Овој групи гасова припадају: угљен-диоксид (CO₂), угљен моноксид (CO), метан (CH₄), озон (O₃) и остали.

Незасићени и нестабилни молекули или *слободни радикали* који се образују веома брзо и реагују са напред наведеним гасовима, при чему настају: CH₃ООН, CH₂O, NO, HO₂, OH и остали.

Аеросоли које су присутне у атмосфери представљају честице у чврстом или течном агрегатном стању које лебде негде у простору атмосфере.

Кисеоником се снабдева атмосфера, путем два основна извора, први је процесом дисоцијацијом воде



други је процесом фотосинтезе



Хемијске реакције се одвијају по утицајем Сунчевог зрачења, прва реакција се одвија под утицајем ултравиолетног зрачења, а друга реакција под утицајем видљивог спектра зрачења. Врло битна количина кисеоника за опстанак живота на планети се добија из процеса фотосинтезе, али није утврђено са научне стране да ли је довољна за процес оксидације материје у Земљиној кори. Кисеоник који се добије путем фотодисоцијације зависи од брзине образовани водоник одлази у простор васионе. Уколико је брзина одласка мања од брзине фотодисоцијације кисеоник и водоник ће произвести воду. На основу мономера CH₂O који се јавља као продукт у реакцији фотосинтезе је основа за образовање биљне ћелије. На основу досадашњих истраживања може се доказати да се кисеоник у атмосфери образује у највећој мери из процеса фотосинтезе.

На сваки молекул кисеоника које је настао као производ хемијске реакције, један молекул угљеника се

уграђује у органску материју. Угљеникови атоми у највећем броју случајева настали су процесом респирације или процесом труљења органске материје.



Кључни извор производње кисеоника у атмосфери је процес фотосинтезе који се прекида сагоревање фосилних горива. Поређењем је утврђено да данашње потребе цивилизације потроше током једне године, колико се кисеоника произведе процесом фотосинтезе за 100 година. Укупна количина кисеоника створена процесом фотосинтезе од стварања планете Земље, данас је у атмосфери свега 10%.

Азот обзиром да је инертан и слабо растворљив у води, највећим делом остаје у атмосфери.

Сумпор и сумпорна једињења као што је сумпор-диоксид и сумпор-водоник су једињења која се налазе у атмосфери под дејством вулканских реакција. Након тога лако оксидишу у сумпор-триоксид као се у облацима раствара у благо сумпорну киселину. Процес настајања се зове „киселе кише” које су изузетно штетне и јављају се у областима индустријске производње, као последица производње сумпора и употребе угља и нафте. У додиру са амонијаком уз присуство воде, сумпор-диоксид гради амонијум-сулфат.

Аргон је инертни гас, највише га има у облику ^{40}Ar , док је хелијум присутан у атмосфери као производ радиоактивног распада.

Озон представља алотропску модификацију кисеоника, чија је главна улога заштита од прекомерног ултраљубичастог зрачења. Да би се озон разложио на молекул кисеоника у атомском стању, потребна је енергија, а да би се створио озон потребни су слободни радикали атома кисеоника. Хемијске реакције образовања кисеоника се одвија на следећи начин



где је h Планкова константа, а ν фреквенција ултраљубичастог зрачења, док се озон образује преко судара три честице:



где је M молекул азота, кисеоника или неки други молекул који уноси потребну енергију у ову реакцију.

Остали састојци атмосфере, представљају честице у чврстом и течном агрегатном стању. Чврсте честице образују дим и прашину, док течне честице образују облаке и магле. У простору атмосфере наведене честице могу да лебде или падају и називају се аеросоли. Аеросоли се могу поделити у две кључне групе према пореклу настајања, а то су природни и вештачки, односно антропогени. Природни аеросоли могу да се појаве као *космичка прашина*, *вулканска прашина*, *честица дима* и *честице прашине*.

Космичка прашина је доспела у атмосферу путем силе гравитације Земље и међупланетарног простора. Космичку прашину представљају микрометеори који се састоје од гвожђа, никла и алуминијума, настале таложењем током милиона година.

Вулканска прашина је доспела у атмосферу путем вулканских ерупција. Честице вулканске прашине се споро крећу и задржавају се у атмосфери и по неколико година.

Честице дима у атмосферу доспевају путем шумских пожара, чије се облаци могу простирати до великих даљина.

Честице прашине имају порекло са голих земљишта, пустиње или било које површине тла које подиже ветар. У себи могу да садрже честице кварца, оксиде алуминијума и гвожђа, соли калцијума и остале. Димензије честица прашине су 20 μm , док се на висини до 2 km формирају честице димензије од 0,7 до

2.0 μm .

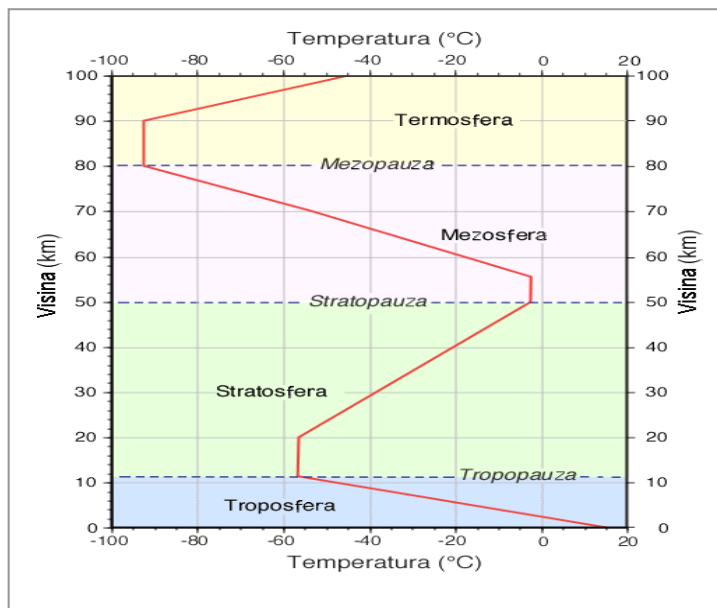
Ефекат поларне светлости (аурога) се манифестује на небу углавном на већим висинама и слојевима атмосфере, односно у дијапазону висине од 80 до 150 km, али исто тако није редак случај и на висинама од једног километра. Емитијућа светлост се јавља у зеленој нијанси и тамно црвеној линији као последица атомског кисеоника као и линије других боја.

Метеори су тамна небеска тела, различитих величина, односно масе, која слободно путују кроз свемир изразито великим брзинама. Њихов пролазак кроз простор атмосфере се манифестује бљеском који се одмах гаси, у свету оваква појава је позната под називом „звезда падалица”. Метеори улећу у атмосферу брзинама од 11,2 до 64 km/s. На годишњем нивоу око 20 милиона метеора улети у атмосферу и само један не сагори до краја већ пада на копно или у водену површину.

Ваздух без примеса са воденом паром назива се суви ваздух и чине га следећи гасови: азот (N_2), кисеоник (O_2), озон (O_3), аргон (Ar), угљен диоксид (CO_2), неон (Ne), хелијум (He), метан (CH_4), криптон (Kr), водоник (H_2), азот-оксид (N_2O), ксенон (Xe), амонијак (NH_3), супер-оксид водоника (H_2O_2), јод (I) и радон (Rn). Поред свих наведених гасова главни састојци сувог ваздуха су азот и кисеоник, који чине укупно 99% запремине гасова у атмосфери. Количина азота је 78%, кисеоника 20%, аргона 1,29% и угљен-диоксида 0,05%. У атмосфери увек постоје примесе које су чврстом, течном или гасовитом стању. Такође у атмосфери се налазе и аеросоли који су у ствари лебдеће чврсте честице прашине, вулканског пепела, чађи, соли, споре биљака, бактерије и остале врсте примеса. Извори емисије полутаната могу бити природни као што су ветрови, шумски и степски пожари, вулкански пепео, полен од цвета биљака, спора и остало, док вештачки или антропогени извори емитују аеросоли на основу којих долази до слабе видљивости, а потичу од једињења хлора, флора, сумпора који делују штетно по живи свет на планети (Stojanović, 2014).

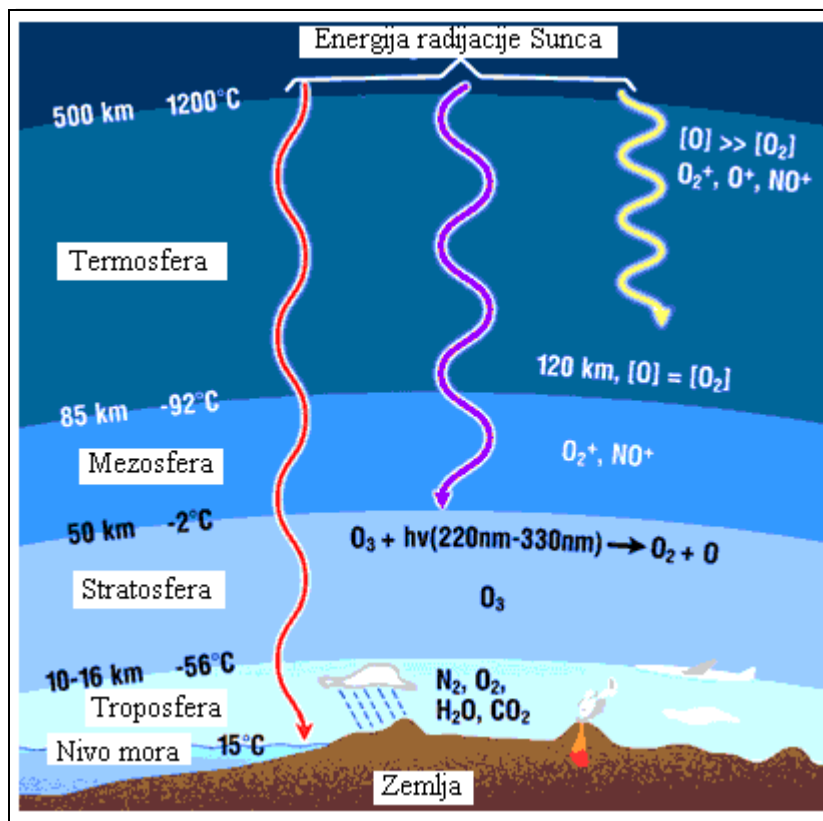
Према досадашњим истраживањима, утврђено је да атмосфера стабилна до висине од 200 km, након чега долази до разређења и тзв. „пулсирања” атмосфере, односно до прелаза из стабилног у нестабилно стање. Према хомогеном саставу атмосфера се може поделити на *хомосферу* и *хетеросферу*. Хомосфера представља доњи слој атмосфере у коме је састав врло константан, јер се компоненте у њему задржавају дуго. Слој хомосфере се простире до слоја *турбопаузе*, након чега се наставља слој хетеросфере.

У хетеросфери се одвијају молекуларне дифузије, док хемијски састав и постаје слојевит и варира (пулсира). У доњим нижим слојевима хетеросфере доминирају молекули кисеоника и азота, док се лакши гасови налазе у горњим слојевима. Атмосфера се може поделити у зависности од утицаја површине Земље на атмосферу, што се манифестује поделом на слој трења и слободну атмосферу (Rajković i Mesinger, 2002), Слика 2.2.



Слика 2.2. Слојеви атмосфере (Glavatović, 2005)

Врло битна подела атмосфере је подела у односу на температуру која је мерена на различитим висинама и различитим локацијама. Дугогодишњим истраживањима дошло се до закључка да до 10 km висине, температура опада у просеку $6,5^{\circ}\text{C}$, што значи да на појединим тачкама може да буде разлика највише до 10°C . На основу ове температурне разлике подељена је вертикална структура атмосфере на пет слојева: 1) тропосферу, 2) стратосферу, 3) мезосферу, 4) јоносферу или термосферу и 5) егзосферу (Barry i Chorley, 2003) Слика 2.3.



Слика 2.3. Распрострањење гасова по слојевима атмосфере (Vukovic i Štrbac, 2011: pp 82)

Тропосфера представља најнижи и најгушћи слој атмосфере и према различитим изворима простире се у просеку од 5,5 km до 15,5 km. Карактеристика тропосфере је да температура опада са повећањем надморске висине. Опадање температуре са висином се назива температурни градијент и који је у овом случају негативан. Контрадикторна појава се јавља у приземном слоју тропосфере на висини до 2 km, где долази до температурне инверзије, односно јавља се појава пораста температуре са надморском висином. Процентуално рачунајући на укупну масу, тропосфера чини 85% масе атмосфере. Атмосферске појаве као што је киша, муња, грмљавина и снег се одвијају у слоју тропосфере, која се дели на три слоја (GLOBE, 2003; Póstał i Buseck, 2010):

- приземни слој, простире се од подлоге па до висине од 2 m. У овој слоју се одвијају највеће температурне промене и промене густине у току смене дана и ноћи под утицајем загревања и хлађења земљине коре;
- планетарни или погранични слој се простире од приземног слоја па до висине од 1,5 km. У њему се одвијају велике температурне дилатације јер топао ваздух се подиже из приземног слоја, повећава своју запремину, при чему губи температуру и водена пара се у том тренутку претвара у капљице воде или леда и
- слободна тропосфера је слој који се наставља на планетарни слој и простире се до висине од 11,5 km. За разлику од приземног слоја, у слоју тропосфере се температура не смењује на сваких 24 часа, већ се на сваких 100 m висине смањује температура у просеку за 0,6 до 0,7° C.

Након тропосфере наставља се слој *тропопаузе* који се простире од границе са тропосфером па до висине од 3 km. Истраживањем је утврђено да овај слој може у неким тачкама да нестане, а у неким да га има у три слоја. За разлику од тропосфере у овим слојевима температура опада на сваких 100 m за 0,2° C (Chen et al. 2011).

Стратосфера се простире од слоја тропопаузе па до висине од 50-55 km, у зависности од извора истраживања. Када се повуче паралела између тропосфере и стратосфере, може се доћи до закључка да стратосфера има изразито малу концентрацију водене паре свега 3 до 5 ppb, али са изразитом концентрацијом О₃. Узимајући у обзир да се у стратосфери честице јако дуго задржавају, онда овај слој и представља акумулацију загађујућих материја. Обзиром да је циљ дисертације сагледавање емисије загађујућих материја даљи слојеви атмосфере неће бити предмет истраживања (Brasseur i Solomon, 2005; Schlatter, 2009; Gerber, 2015).

2.2.3. Ваздух и његове карактеристике

Ваздух представља смешу гасова, гасовитих једињења, суспендованих честица, честица прашине, чађи, бактерија и водене паре. Ваздух се простире око површине Земље и висини до 600 m. Састав и квалитет ваздуха зависи од следећих кључних фактора: *надморске висине, географских услова, географске ширине и дужине, рељефа, састава земљишта, климатских услова – врсте климе, доба године и руже ветрова, емисије природног порекла и емисије вештачког, односно антропогеног порекла.*

Ваздух који у свом саставу нема примесе, назива се суви ваздух. Примесе су пепео, прашина, водена пара, разни гасови, чађ и остале суспендоване честице. Велика је улога ваздуха на планети у смислу одржања живота као примарној функцији и обезбеђењу реализације свакодневних производних и непроизводних активности као секундарна активност. У састав ваздуха улазе супстанце чија је концентрација константна као што је N₂, O₂ и H₂, затим племенити гасови чији је састав променљив, као и остале супстанце које зависе од напред наведених фактора, а то су CO₂, CH₄, N₂O или водене паре. Време боравка појединих честица може бити изразито кратко од неколико делова секунде до неколико година у зависности од висине и физичко хемијских реакција у којима су чиниоци (Табели 2.1.).

Табела 2.1 Састав ваздуха у зависности од садржаја и карактеристика појединих елемената и једињења (Bencetić-Klaić, 2003)

Хемијска формула	Гас	Молекулска маса	Садржај (%)	Масени удео (%)	Време боравка
O ₂	кисеоник	32	20.946	23.1	5·10 ³ година
N ₂	азот	28.01	78.084	75.5	10 ⁶ година
Ar	аргон	39.95	0.934	1.3	
Ne	неон	20.18	1.8·10 ⁻³	1.3·10 ⁻³	
He	хелијум	4.01	5.2·10 ⁻⁴	7.2·10 ⁻⁵	10 ⁷ година
Kr	криптон	83.8	1.1·10 ⁻⁴	3.3·10 ⁻⁴	
Xe	ксенон	131.3	8.6·10 ⁻⁶	3.9·10 ⁻⁵	
Rn	радон	222	6.0·10 ⁻¹⁸		
CO ₂	угљендиоксид	44.01	3.6·10 ⁻²	4.6·10 ⁻²	5-6 година
CH ₄	метан	16.04	1.4·10 ⁻⁴	7.8·10 ⁻⁵	4-7 година
H ₂	водоник	2.01	5.0·10 ⁻⁵	3.5·10 ⁻⁶	6-8 година
N ₂ O	азот-субоксид	44.01	1.0·10 ⁻⁷	3.1·10 ⁻⁷	25 година
O ₃	озон	48	2.0·10 ⁻⁶	6.0·10 ⁻⁶	10 година
H ₂ O	водена пара	18.02	≤4.0		10 дана
CO	угљен-моноксид	28.01	1.0·10 ⁻⁵	2.0·10 ⁻⁵	0.2-0.5 година
NO ₂	азот-диоксид	46.01	2.3-3.5·10 ⁻⁵		8-10 дана
NH ₃	амонијак	17.03	1.0·10 ⁻⁶	1.0·10 ⁻⁶	5 дана
SO ₂	сумпор-диоксид	64.06	2.0·10 ⁻⁸	9.0·10 ⁻⁸	2 дана
H ₂ S	водоник-сулфид	34.08	≤0.6·10 ⁻⁷		0.5 дана
C ₂	органички угљеник				2 дана

Ваздух чини смеша гасова од којих је најзаступљенији азот са 78%, онда кисеоник са 21%, угљен диоксид са 0.03%, остале количине чини знатно мале количине гасова као што је неон, аргон, суспендоване честице прашице, водене паре и разних бактерија (Jacobson, 2005).

2.2.4. Атмосферска циркулација

Атмосферска циркулација је појава која настаје као производ струјања ваздуха са места вишег ка месту нижег притиска. Настанак ветрова регулишу силе које настају у природи и јављају се резултат деловања сила као што су Кориолисова, центрифугална, сила трења и градијент сила притиска.

Сила трења се јавља приликом додира два или више тела, при чему се ствара дејство силе отпора у кретању једног тела у односу на друго. Услед трења слојеви флуида, односно гаса се крећу различитим брзинама при чему сила вискозности има исти правац, али супротан смер у односу на смер кретања флуида, приказано на Слици 2.4. Када брзина слојева линеарно опада, нормално у односу на правац кретања флуида важи Њутнов закон вискозности:

$$F_v = \eta S (\Delta v / \Delta z) \quad (2.6)$$

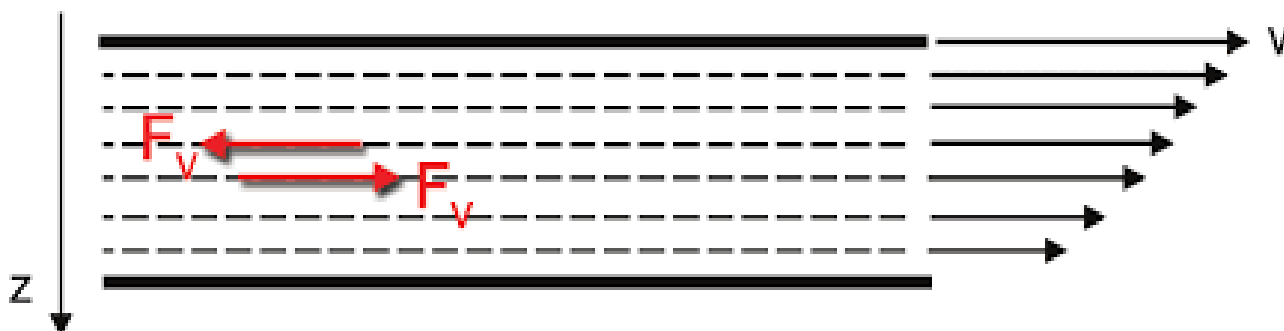
где је:

F_v – сила вискозности,

S – величина додирне површине слојева,

η – коефицијент вискозности флуида,

$\Delta v / \Delta z$ – градијент брзине, нормално у односу на правац кретања.



Слика 2.4. Градијент брзине слојева флуида изнад чврсте површине дуж правца који је нормалан у односу на правац кретања (Jacobson, 2005)

Приликом проласка приземног ваздуха кроз препреке као што је рељеф терена, слојеви атмосфере јавља се сила трења. Веома мали и танак слој ваздуха долази у додир са површином Земље, услед мале вискозности ваздуха. Облици површине терена или храпавост терена утичу на тај начин што је сила трења већа изнад планинских масива него изнад водене површине. Поређења ради дебљина слоја изнад планинских масива износи и до 3 km, док изнад водене површине свега до 100 m.

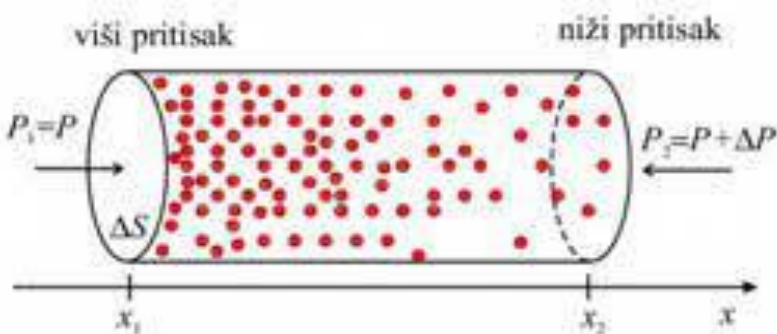
Градијент силе притиска се јавља услед разлике притисака који се јављају између тачака у хоризонталној равни. Правац притиска је идентичан као правац дуж кога се притисак мења, смер је у смеру повећања притиска, а интензитет прати разлику која се ствара у притисцима. Сила притиска приказана на Сlici 2.5. је увек у супротном смеру у односу на градијент притиска и рачуна се на следећи начин:

$$F_x / \Delta V = - (\Delta p / \Delta x) \quad (2.7)$$

где је:

$\Delta p / \Delta x$ – градијент притиска у хоризонталном правцу,

ΔV – запремина ваздуха по јединици запремине.



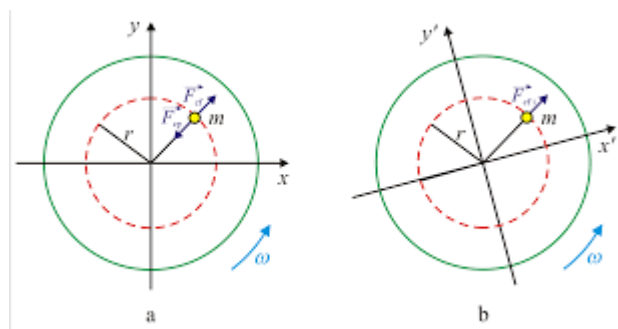
Слика 2.5. Градијент притиска у ваздуху (www.tesla.pmf.ni.ac.rs)

Услед разлике у температури између две тачке, на месту где се ваздух није кретао долази до кретања ваздуха по међусобно паралелним правцима, супротног смера и у близини површине Земље (Слика 2.6.).



Слика 2.6. Кретање ваздуха према копну и мору (www.tesla.pmf.ni.ac.rs)

Приликом кретања планете Земље око своје осе и око Сунца на атмосферски омотач или воду у хидросфери утиче инерцијална сила и дефинише облик њихове путање. Као последица наведених ротација јављају се две силе, једна је центрифугална сила тела при кретању или мировању у односу на површину Земље, а друга је Кориолисова сила која се јавља само уколико се посматрано тело креће у односу на Земљу. Центрифугална сила делује нормално на осу ротације Земље у смеру „од осе ротације”, На ваздух делује гравитациона сила која потиче од планете Земље и смер јој је „ка центру”, правац полупречника планете Земље. На ваздух у сваком тренутку делују и центрифугална и гравитациона сила (Слика 2.7.).



Слика 2.7. Правац и смер дејства центрифугалне и центрипеталне силе (www.physics.kg.ac.rs)

Вредност центрифугалне силе се рачуна путем следеће формуле:

$$F_{cf} = m \cdot \omega^2 \cdot R \cos \theta \quad (2.8)$$

где је:

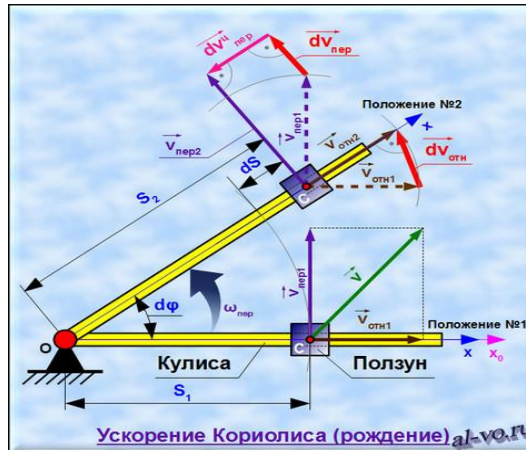
R – полупречник Земље,

θ – угао који вектор положаја захвата са екваторијалном равни.

Кориолисова сила се јавља као што је у претходном делу текста напоменуто, искључиво када се ваздух креће и као последица се јавља закривљење праволинијске путање. Интензитет „Кориолисове силе” се израчунава путем следеће формуле:

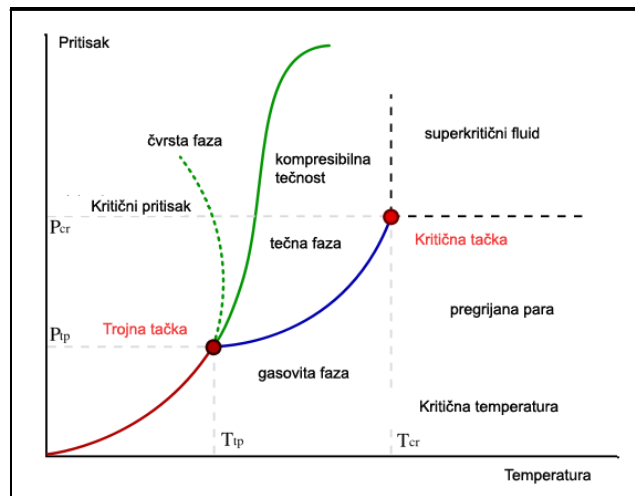
$$F_k = 2mv\omega \sin \theta \quad (2.9)$$

Главна улога Кориолисове силе је да под њеним дејством долази до скретања ветрова на удесно на северној и улево на јужној хемисфери, што је приказана на сликама 2.8. и 2.9.



Слика 2.8. Приказ деловања Кориолисове силе (www.apriori-nauka.ru)

На самом екватору интензитет „Кориолисове силе” једнак је нули, а на половима достиже максималне вредности, док је код центрифугалне силе обрнути случај (Bulajić i Lalić, 2018).



Слика 2.9. Идеална расподела површинског притиска и сталних ветрова у атмосфери (www.wonderworksonline.com)

Физички механизми којима се регулише загревање и хлађење ваздуха су:

- кондукција – представља процес размене енергије на молекуларном нивоу између површине земљишта и танког слоја атмосферског ваздуха,
- турбулентно мешање – представља процес размене енергије и супстанци између граничних слојева атмосфере,
- конвекција – представља процес подизања топлог и спуштања хладног ваздуха,
- зрачење – представља процес преноса енергије електромагнетним путем, односно зрачењем Сунца и Земље. Састав атмосфере директно утиче на загревање атмосфере путем зрачења,

- адвекција – представља процес преноса енергије као последица дувања ветра и преношења ваздуха са различитом температуром и
- испаравање и кондензације – представља процес промене агрегатног стања воде у атмосфери, након чега се енергија ослобађа и везује у облику латентне топлоте.

На основу наведеног, може се закључити да дневна колебања температуре ваздуха зависе од: географске ширине, максималне вредности се достижу на екватору; годишњег доба, највише вредности се достижу лети, врсте површине; највише вредности достиже код песковитог, односно огољеног земљишта и стена; рељефа, јер је израженије у низијама; надморске висине, већа је израженост на мањој надморској висини и облачности, израженија под ведрим небом. Адијабатски процеси у атмосферска стабилност.

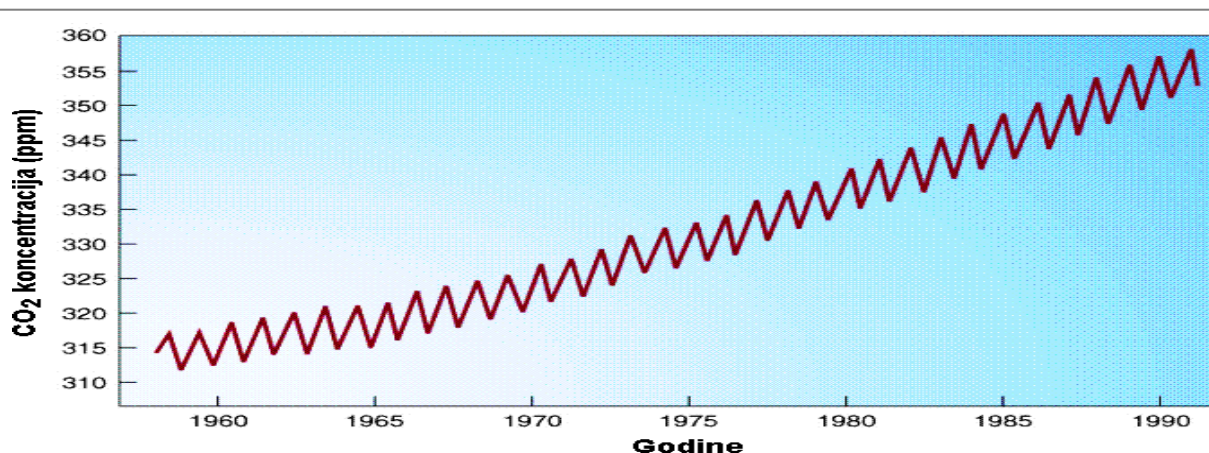
2.3. Атмосферски гасови

Енглески хемичар Џон Далтон (1766 – 1844) је установио да атмосферски ваздух чине: кисеоник, азот и мала количина незапаљивог гаса, за који је нешто касније утврђено да је *аргон*. Након овог проналаска током XX века, проналаском спектрометра, установљено је присуство и концентрација извесног броја гасова са врло малим учешћем у атмосфери као што је угљен-диоксид (CO_2), влага, метан (CH_4), сумпор диоксид (SO_2), озон (O_3) и други.

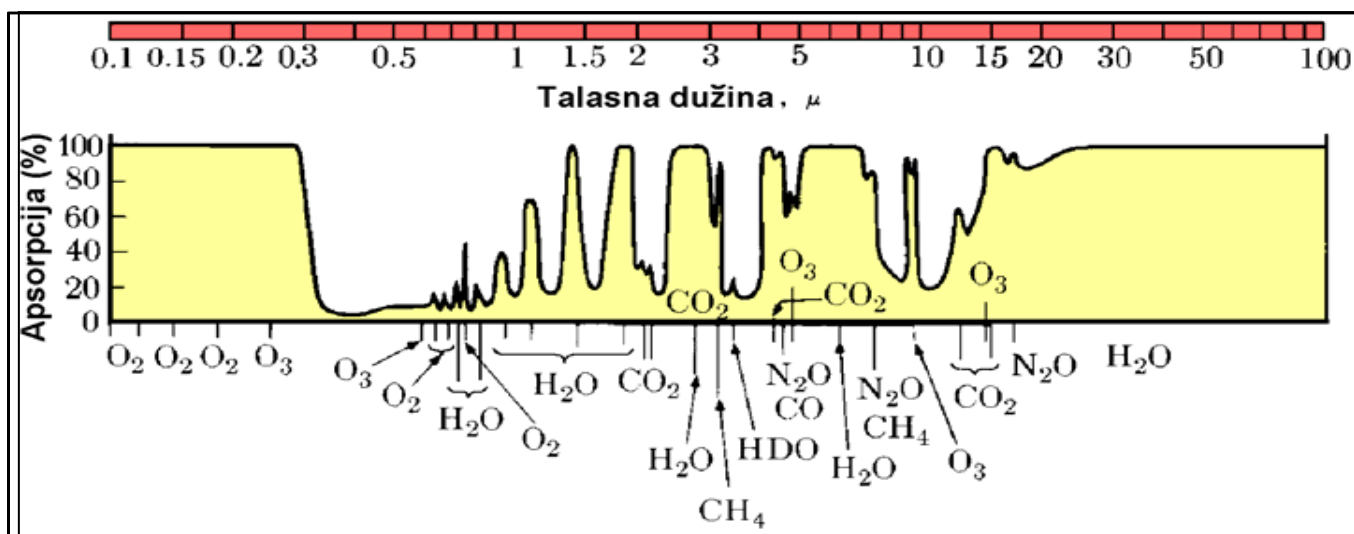
Табела 2.2. Садржај гасова у атмосфери (Glavatović, 2005)

Гас	Учешће у атмосфери (%)
Азот	78,08
Кисеоник	20,95
Аргон	0,93
Неон, Хелиум, Криптон	0,002
Угљен-диоксид	0,0003-0,0360
Метан, Водоник, азотни оксиди	0,00025

Озон се простире од 15 до 55 километара изнад површине Земље. Основна функција озона је да штити од ултравиолетног зрачења. Кључни утицај у смањењу количине овог гаса има емисија хлор-флуоро-угљеника који је последица индустријских активности. Метан, угљен диоксид и азотни оксид имају својство упијања инфрацрвеног дела зрачења, стварајући ефекат „стаклене баште”. Сагледавајући ефекте гасова „стаклене баште”, може се утврдити да се концентрација ових гасова повећава од почетка индустријске револуције до данас, Слика 2.10., чиме се средња температура повећала знатно изнад просека, Слика 2.11.

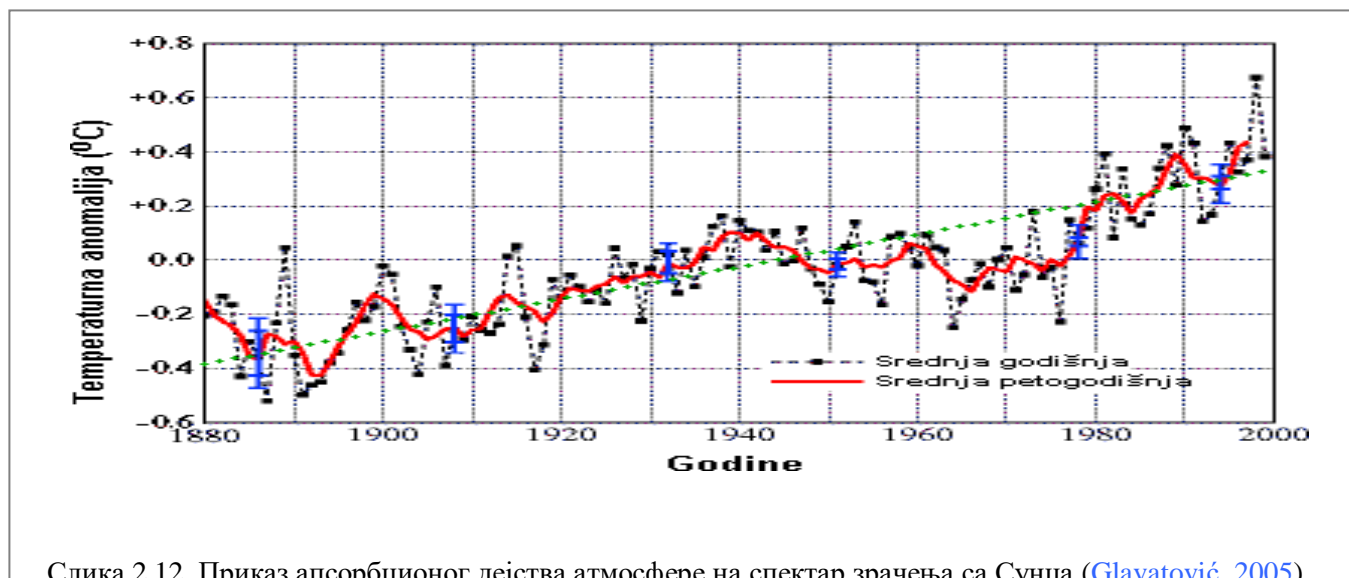


Слика 2.10. Раст концентрације угљен диоксида током деценија (Lalić et al., 2021)



Слика 2.11. Промена годишње средње температуре (Lalić et al., 2021)

На Слици 2.12. је приказано апсорбционо дејство сунчевог зрачења, где се може утврдити да кисеоник и озон уништавају краткоталасна зрачења, односно ултравиолетна зрачења. Према реду величина то значи да испод 0,3 микрона, затим влага (H_2O), угљен-диоксид (CO_2), метан (CH_4) и азотни оксид (N_2O), смањују део спектра 0,33 и 15 микрона.



Слика 2.12. Приказ апсорбционог дејства атмосфере на спектар зрачења са Сунца (Glavatović, 2005)

2.4. Распрострањење контаминације у ваздуху

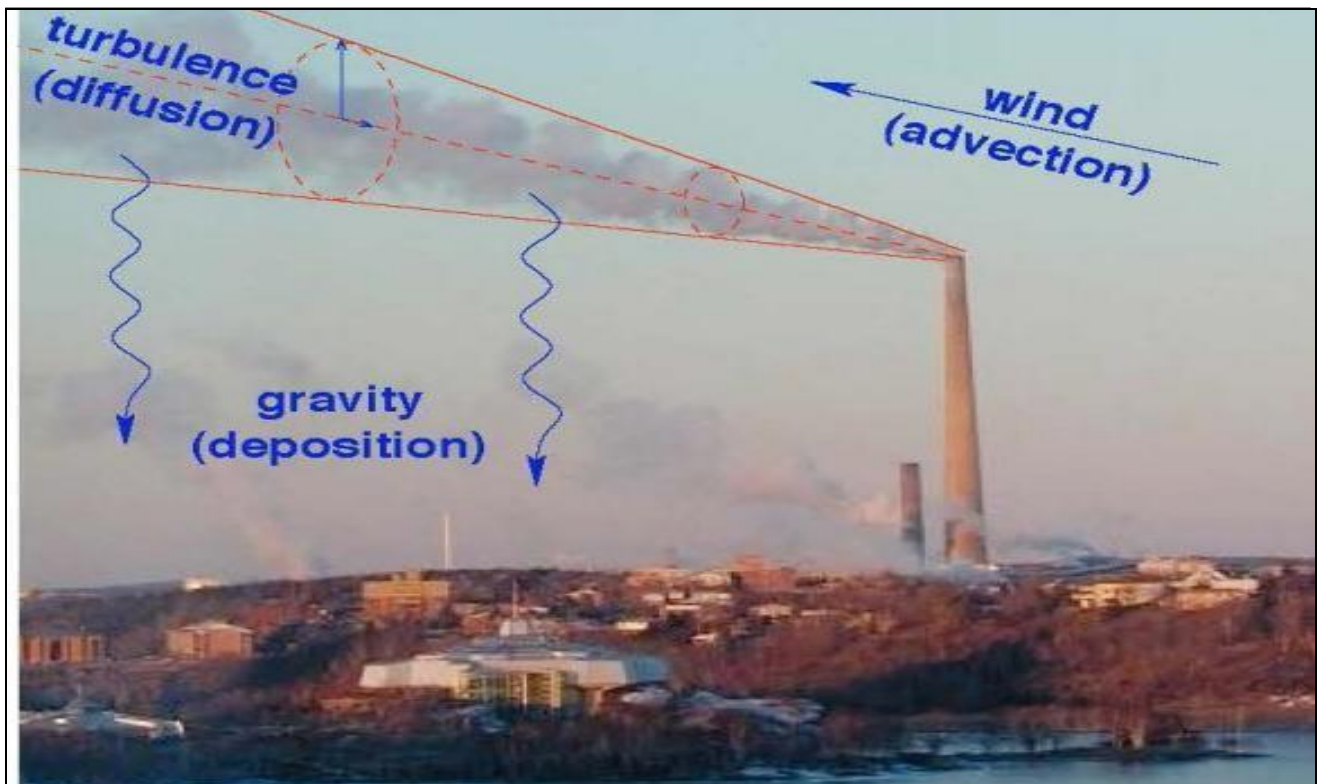
Емисија загађујућих материја и њихова суспензија у ваздуху са концентрацијом која је изнад дозвољених вредности, при чему нарушавају здравље људи и оштећују биљне врсте или на алтернативни начин утичу на загађење ваздуха, представљају аерозагађење. Узрок аерозагађења може бити проузрокован природним појавама или услед активности човека. Највећи и најзначајнији узрочници аерозагађења су индустријска постројења, енергетска постројења, термоелектране и топлане, нуклеарна постројења, урбане средине и возила са моторима са унутрашњим сагоревањем у саобраћају.

Поред загађења ваздуха, услед функционисања индустријских и енергетских извора загађења у нормалним условима, у акцидентним ситуацијама наведени извори могу довести до неконтролисаног

погоршања квалитета ваздуха у граничним слојевима атмосфере, где се одвијају све људске активности.

Емитовање загађујућих материја у животну средину, нарочито у акцидентним ситуацијама немају инсталиране контролне системе са сензорима за генерисање концентрација загађујућих полутаната у атмосфери. Праћење ових параметара у реалном времену би омогућило ефикасно моделирање противмера за смањење или сузбијање негативних последица. Принципи доспевања полутаната у атмосферу су различити почев од преношења ветром – адвекција, атмосферску дифузију, суво или мокро таложење – депозиција, подизање са тла после таложења – ресуспензија и хемијска трансформација.

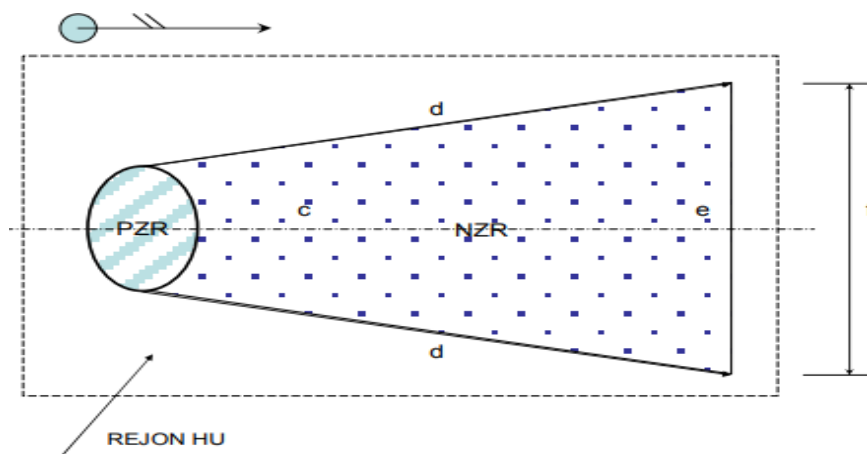
У зонама хемијског удеса у зависности од услова настанка и физичко хемијских карактеристика полутаната, примарни облак контаминације настаје ослобађањем паре и аеросола, услед експлозије, пожара, слободне турбуленције, односно истицања течности који се шири и распростире на одређено растојање посредством метео-фактора. Моделовање дисперзије полутаната услед хемијског удеса, служи за узрочно последичних веза између емисија, метеорологије, атмосферске конвенрације и таложења, приказано на Слици 2.13. Мерењем концентрације полутаната, утврђују се вредности концентрације и таложења полутаната, које описују квалитет ваздуха на одређеним локацијама и времену, без узрочно последичних веза са квалитетом ваздуха.



Слика 2.13. Распростирање полутаната у атмосфери (Artiola et al., 2004)

Моделирање дисперзије ваздушних полутаната, детаљно описује квалитет ваздуха са анализом фактора и узрока, извор емисије, метеоролошки процес, физичке и хемијске промене уз корисно проналажење начина за превазилажење или елиминацију проблема. Одвијање процеса распростирања полутаната у ваздуху је диригован атмосферском средином, метеоролошким условима, емисионим параметрима као што су атмосферска стратификација, иницијални импулс емисије и температуре, правац и брзина ветра, као и турбулентно понашање загађеног ваздуха.

Гаусов-ов (Gauss) модел дисперзије полутаната је најприхватљивији модел за симулацију, приказан на Слици 2.14.



Слика 2.14. Шематски приказ распрострања полутаната у простору (Artiola et al., 2004)

Време настанка хемијског удеса се израчунава помоћу следеће формуле:

$$T = D / V_v \cdot 60 \quad (2.10)$$

где је:

D – удаљеност од извора удеса (m/s),

V_v – брзина загађеног облака који се просторе до одређене зоне (m/s).

Расположиво време реаговања након хемијског удеса је веома кратко, а сигурносна растојања се могу израчунати на следећи начин:

$$L = C^3 \sqrt{M} \quad (2.11)$$

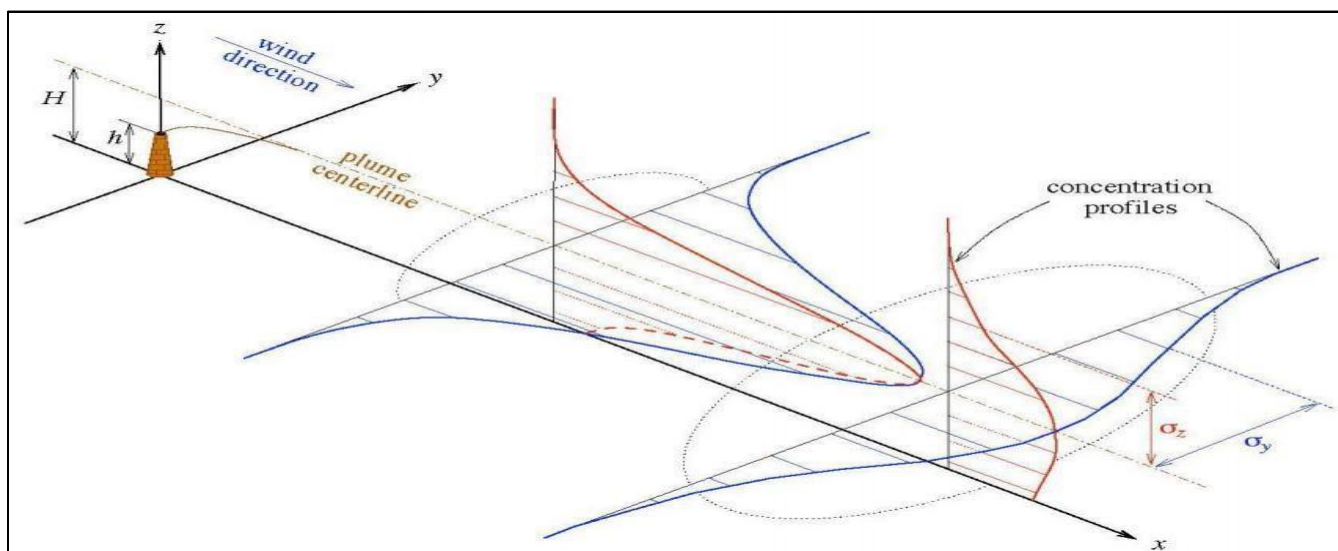
где је:

M – маса хемијске супстанце (g),

C – константа која зависи од природе емисионе материје,

L – полупречник опасности (km).

Прорачун на бази Гаусове расподеле, а номограми су рађени на бази „Puff” модела. Начелни облик перјанице применом Гаусовог модела (Слика 2.16.).



Слика 2.15. Гаусов модел димне перјанице са тачкастим извором загађења (Artiola et al., 2004)

Поред Гаусовог модела, постоји и модел „Ontario Ministry of Environment”, ОМЕ, затим математички модели за прогнозу и процену загађене атмосфере и процену сигурносних одстојања путем модела Slade. Прорачун стања атмосфере, на основу вредности коефицијената e , рачуна се према следећем:

$$E = Dt / v^2 \quad (2.12)$$

где је:

v – брзина ветра (m/s),

Dt – температурни градијент,

e – степен вертикални стабилности ваздуха у приземном слоју.

Ако је вредност e мања од -0,1, стање атмосфере је стабилно, уколико је већа од 0,1 стање атмосфере је нестабилно, а вредност између дефинише стање атмосфере неутралним. Прорачун сигурносних одстојања у часовима по Sladeu:

$$h = \frac{2C_h B_h \cdot 1000}{M_h M_z \cdot v \cdot D} \text{ (km)} \quad (2.13)$$

где је:

C_h – концентрација (mg/m^3),

B_h – количина гаса (dm^3),

M_h, M_z – дифузиони коефицијенти за ваздух и тло,

v – брзина ветра (m/s),

D – конвентрација преко дозвољене граничне вредности (mg/kg).

Време дејства примарног и секундарног емисионог таласа се рачуна помоћу формуле:

$$T = \left(\frac{L^2 + 8 \cdot K_0 \cdot t}{v} \right) \cdot 0,5 \quad (2.14)$$

где је:

K_0 – коефицијент (mg/m^3),

L – дужина облака (km),

T – време трајања загађења (h),
v – брзина ветра (m/s),
t – времепротекло од настанка емисионог таласа (h).

2.5. Глобална перспектива животне средине

Судбина загађивача, односно загађујуће материје искључиво зависи од стања животне средине. Узимајући у обзир да се загађујуће материје, односно нус продукти из извора загађења испуштају у једну од фаза животне средине, односно земљу, воду или ваздух. Након интеракције са животном срединим путем физичких процеса и хемијских реакција се инкорпорирају у животну средину.

2.6. Преглед карактеризације животне средине

Стварни утицај или потенцијал загађења животне средине се може утврдити једино технолошки софистицираним мониторингом локације или извора загађења. Мониторинг подразумева карактеризацију локације, идентификацију подручја и запремине која је загађена. Поред наведеног, препоручљива је компарација загађеног подручја са контролним тачкама у незагађеном подручју ради дефинисања законитости и корелације са нормалним позадинским нивоима загађења. Ефективна и ефикасна карактеризација подручја се може извршити уз примену одговарајућег режима узорковања. Брзина испуштања загађујућих материја у животну средину и брзина накнадних процеса који се дешавају одређују крајњи ефекат и утицај загаживача на животну средину. Оптимум функционисања система се огледа у томе да се ресурси трође брзином којом се могу обновити, односно загажујуће материје додавати у животну средину брзином којом се могу анулирати без нарушавања равнотеже и животне средине (Artiola et al., 2004; Maier et al., 2000; Pepper et al., 1996).

3. ЗАГАЂЕЊЕ ВАЗДУХА

Загађење животне средине је присутно у свим фазама и у више облика. Загађење представља акумулацију штетних материја и утицаја у животној средини. У већини случајева загађење је проузроковано отпадним материјама које су проузроковане активностима живих бића. За разлику од загађења које је проузроковано штетних утицајима живих бића, може бити проузроковано и природним појавама попут таложења арсена из стена или загађење нис продуктима дима насталих из шумских пожара. Карактеристичан пример токсичних материја које настају услед изливања органских материја као што су хлорисани растварачи или нафтни угљоводоници који загађују подземне воде. У овом раду се анализирају главне загађујуће материје ваздуха.

Главне супстанце које загађују ваздух су: угљен-моноксид, угљоводоници, честице прашине и чађи, сумпор диоксид, азотни оксиди и олово.

Угљен моноксид је главни загађивач ваздуха у градским и урбаним срединама, јер настаје сагоревањем фосилних горива. Емисија угљен монооксида у САД достиже 60% укупне емисије полутаната. Поред штетности, овај полутант је и отрован за већину животиња. У додиру са атмосферским ваздухом брзо оксидише у CO_2 са хидроксилних радикалима. Много држава теже да повећају оксидацију угљен диоксида у угљен моноксид, алтернативним горивима са садржајем адитива.

Угљоводоници (HCs) или испарљиви органски угљеници (VOCs) састоје се од водоника и угљеника. Поред водоника и угљеника у атмосфери је најзаступљенији метан (CH_4) као активни гас стаклене баште. У испарљиве органске материје спадају и неметански угљоводоници попут (NMHCs) у који спада бензин и деривати као што је формалдехид. Угљоводоници настају и природним појавама и процесима попут разградње одређених врста биљака. Антропогени извори производње HCs , NMHCs су процеси проузроковани људском активношћу. Од вештачких извора главни емитер је процес сагоревања фосилних горива и испарења из нафтних деривата у нафтним индустријама и бензинским пумпама.

Честице прашине и чађи немају константан хемијски састав и због тога представљају веома сложене појаве. Карактеристични примери су: дим, чађ, прашина, влакна од азбеста, пестициди, хербициди укључујући и метале попут живе (Hg), гвожђа (Fe), бакра (Cu) и олова (Pb). Величина честица има пресудну улогу, те се честице чији су пречници преко $10 \mu\text{m}$ се углавном таложе на земљи, док оне испод $1 \mu\text{m}$ могу остати суспендоване у атмосфери више недеља. Вулканске ерупције емитују једињења сумпора која могу доспети у стратосфери, чиме значајно могу утицати на зрачење и смањење температуре на површини земље.

Сумпор диоксид (SO_2) настаје услед сагоревања фосилних горива, који садрже сумпор, првенствено угља. У рудницима, топионицама руде и рафинеријама нафте се такође емитује сумпор диоксид. У интеракцији са капљицама воде формира сумпорну киселину (H_2SO_4) и киселе кише. Утицај сумпор диоксида на хемијску равнотежу се огледа у смањењу температуре на површини земље.

Оксиди азота (NO_x) означавају променљиви однос мешавине NO и NO_2 , који настају из N_2 и O_2 , током сагоревања горива у аутомобилима. Оксиди азота такође доприносе стварању киселих киша и азотне киселине (HNO_3).

Олово (Pb) је веома канцерогено и штетно за живе организме. Након ере нових горива смањен је проценат загађења атмосфере оловом и може се наћи у елементарном облику у старим урбаним срединама које имају грађевине са фасадом од оловних боја.

Секундарни загађивачи настају кад производ реакције примарних загађивача и осталих атмосферских састојака, попут водене паре. Реакције настају под утицајем сунчеве светлости, при чему настаје тзв. „фотохемијски смог”. Да би се формирао озон (O_3) неопходан је HCs , у чијем недостатку у присуству ултравиолетне светлости разлаже се NO_2 на NO и O . Атом O у интеракцији са O_2 формира O_3 . Фотохемијски смог се најчешће састоји од O_3 , PAN и NO_x . Процент настајања је далеко већи од

процента уништавања озона како у индустријским и урбаним тако и у руралним срединама, поред свих напора и спровођења активних стратегија смањења његовог негативног утицаја (Ahrens, 2003).

Загађујуће супстанце из атмосфере доспевају у остале делове животне средине, као што су: неоргански и органски загађивачи укључујући, металоиди, неметали, и халогени (Orbović, 2010; Hooda, 2010; Kabata-Pendias, Mukherjee, 2007; Chao et al., 2016). Органски загађивачи подразумевају једињења која у себи садрже угљеник и обухватају неколико група као што су: пестициди, угљоводоници, ПАХ_s, РСВ_s и полохлоровани дибензо-п-диоксини (PCDD_s). Једну од најризичнијих група представљају перзистентни органски загађивачи (POP_s), јер су глобални проблем загађења животне средине због њихове постојаности, канцерогености, мутагенског потенцијала, масовне употребе и мобилност у животној околини. (WHO, 2003; Расуна, 2011). Ефекти многих једињења нису до данас познати, као што једињења на бази сурфактанта или тзв. успоривача, а изузетно велику токсичност по животну средину (Thomaidi et al., 2016). Поред класичних загађивача треба посматрати и загађиваче у виду наноматеријала који су почели да се производе на нивоу индустријске производње. На основу тога постоје две групе наноаматеријали са димензијом мањом од 100 nm и наночестице које се крећу са две димензије од 1 до 100 nm (Klaine et al., 2008). Извори загађења су различити почев од рударства, топљења и одлагања отпада, сагоревање фосилних горива, гасовода, индустрије, војске и обука војске, наменска индустрија, агрохемија и нуклеарне несреће.

4. УБОЈНА СРЕДСТВА И ЕКСПЛОЗИВНЕ МАТЕРИЈЕ

4.1. Експлозивни и коверзије приликом сагоревања и детонације

Услед хемијске реакције, путем оксидације експлозивни се претварају у експлозивну енергију и топлотну енергију. Хемијска реакција процеса претварања може се одвијати путем сагоревања, дефлаграције (непотпуног сагоревања) и детонације. Процеси се разликују у брзини хемијске реакције, продуктима и различитим физичким величинама процеса.

Процес детонације је физичко хемијски процес када експлозивне материје прелазе из најчешће чврстог у гасовито агрегатно стање. Након тога се ослобађа потенцијална енергија која се највећим делом користи за разарање околне средине, а преостали део се претвара у кинетичку енергију ударног таласа у околини ударног таласа. Велика брзина хемијске реакције доводи до ослобађања велике количине енергије. Прорачуната снага експлозије једног килограма експлозива превазилази снагу изражену у MW електричне централе. Временски интервал одвијања хемијске реакције се мери у милсекундама и за то време се обави хемијско разлагање након чега нестабилне хемијске везе и смеше прелазе у стабилне гасовите продукте. Продукти детонације су гасови који су настали и чија је запремина и притисак врло важне карактеристике за јачину детонације. Притисак детонације зависи од почетне запремине продуката експлозије и температуре експлозије. Да би се испунили услови за детонацију потребно је у било којој тачки експлозивне материје изазвати хемијску промену, односно иницијацију. Иницијација експлозива или експлозивне материје се постиже, енергијом спољашњег импулса којом се постиже раскидање унутрашње молекулске везе и разарање експлозивне материје. Иницирање се може постићи ударом, трењем и отвореним пламеном. Када отпочне одвијање хемијске реакције ствара се велики притисак, на основу кога проистиче ударни талас који се простире кроз иницијално пуњење и доводи до иницијације главног пуњења од бризантног секундарног експлозива.

Граница осетљивости експлозива зависи од хемијског састава и физичко хемијских својстава експлозивне материје. Поређења ради експлозивне материје веће густине и са већим степеном влажности су мање осетљиве, односно треба већи почетни импулс да би дошло до иницирања.

4.2. Физичка и детонациона својства експлозивне материје

На физичка и детонациона својства утичу: 1) *физички параметри*, 2) *својства безбедности*, 3) *својства детонације*, 4) *методе прорачуна параметара детонације*, 5) *густина експлозива*, 6) *агрегатно стање* и 7) *конзистенција*.

Физички параметри су: 1) Хемијски састав, 2) Густина, 3) Агрегатно стање, 4) Гранулација, 5) Геометријски облик, 6) Водоотпорност и 7) Кристалност.

Својства безбедности су: 1) Осетљивост на удар, 2) Осетљивост на трење, 3) Осетљивост на топлоту, 4) Енергија иницирања и 5) Облик иницијалног облика.

Својства детонације су: 1) Притисак, 2) Температура, 3) Брзина, 4) Запремина гасовитих продуката, 5) Биланс кисеоника и 6) Енергија.

Методе прорачуна параметра детонације које се најчешће примењују су: 1) метода прорачуна детонационих продуката, 2) метода коришћења једначине стања и 3) метода прорачуна улазних термодинамичких података.

Утицај густине експлозивне материје на притисак ударне енергије при детонацији се рачуна на следећи начин:

$$P_d = \frac{\rho v_d^2}{4} \quad (4.1)$$

где је:

P_d – притисак детонације (Pa),

v_d – брзина детонације (m/s),

ρ - густина експлозивне материје (kg/m^3).

Брзина детонације је брзина којом се ударни талас креће од места иницијације до краја експлозивне материје. Искључиво зависи од густине и пречника експлозивне материје. Повећањем густине и пречника може се повећавати брзина детонације до граница zasiћења.

Енергија детонације је енергија која се ослобађа приликом детонације у виду топлоте и највећим делом се претвара у механички рад. Концентрација енергије у експлозивној материји се рачуна на основу еквивалента топлоте детонације и специфичне масе експлозива.

Запремина гасовитих продуката који настају при детонацији 1 kg експлозива изражава се у dm^3 , мери се код температуре 0°C и притиску од једног бара. Максимални притисак који се оствари при детонацији 1 kg експлозива у затвореном простору запремине 1 dm^3 назива се специфични притисак. Специфични притисак може се израчунати на основи запремине гасовитих продуката и температуре експлозије.

Температура експлозије представља највишу температуру која настаје приликом детонације експлозива уз константну запремину.

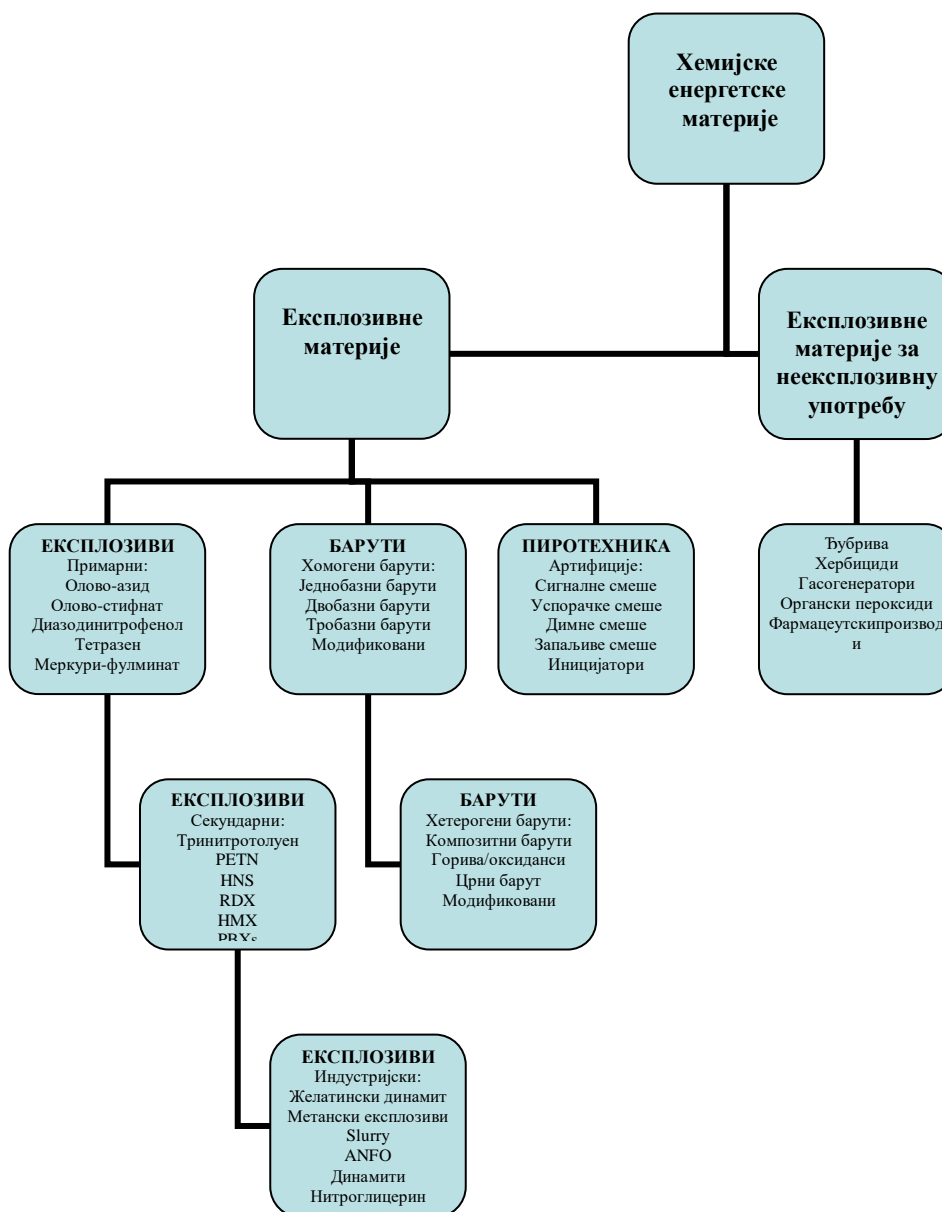
Биланс кисеоника представља однос количине кисеоника који садржи неки експлозив и количине кисеоника који је потребан за потпуно сагоревање, односно оксидацију свих горивих једињења у експлозиву. Приликом реакције детонације угљеник се спаја са угљен диоксидом, а водоник са кисеоником ствара воду.

4.3. Врсте експлозива

Основна подела експлозива је на примарне, секундарне и терцијарне. Према осетљивости и намени експлозиви се деле на:

1. Иницијалне,
2. Бризантне,
3. Рударске и
4. Специјалне.

Подела експлозива се заснива на основној подели свих хемијских енергетских материја која је приказана на Слици 4.1.



Слика 4.1. Подела хемијских енергетских материја (Orbović, 2020)

Карактеристика примарних експлозива јевелика осетљивост на трење, удар и пораст температуре.

Карактеристике секундарних експлозива су мања осетљивост на механичке и топлотне утицаје који могу довести експлозиве до процеса детонације.

Енергетске материје представљају супстанце или смеше различитих једињења, чијом иницијацијом долази до одвијања егзотермне реакције која резултира процесом разлагања и ослобађања енергије, највећим делом у виду топлоте. Ослобођена енергија се претвара у рад преко размене топлоте са животном средином путем кондукције, конвекције или зрачења. Најважнији и најбитнији сегмент приликом одвијања реакције је експанзија штетних гасовитих продуката и/или испарења супстанци које утичу на састав експлозивне материје.

Експлозија је физички процес тренутне екпанзије гасовитих продуката и/или испарених материја праћених високим притиском, који се јављају као последица два паралелна процеса. Процес експлозије је

праћен наглим повећањем унутрашње енергије гасовитих или испарених материја као што су спољно загревање или егзотермна реакција, што резултира повећањем притиска и околне температуре.

Други процес је повећање количине материје, изражено у броју молова у гасовитом стању што се изражава повећањем количине материје или бројем молова у односу на број молова полазне количине материје. Последица разлике притиска унутар процеса и атмосферског притиска околине доводи до тога да се гасовите и/или испарене материје експандују и један део се трансформише у механички рад. Услов за експлозију је да се границе система наруше или разбију.

Експанзија гасовитих продуката и/или испарених материја може се одвијати на два начина:

- енормни пораст притиска, доводи до неконтролисане експанзије ударног таласа који се на околину неконтролисано шири и резултује рушењем свега пред собом уз звучни ефекат. Овакав начин ослобађања енергије се не може трансформисати у механички рад и
- пораст притиска умерен, доводи до експлозије гасова која се може контролисати и има широку примену у пропулзији ракетних мотора, пројектила, метака у гранати из цеви оруђа, код генератора гаса и на крају трансформисање енергије у механички рад. Карактеристичан случај сагоревања експлозивних материја или дефлаграције, углавном барута или пиротехничких смеша.

На основу узрока експлозије експлозија може бити: физичка, механичка, електрична или хемијска.

Хемијска експлозија је експлозија коју проузрокује неки хемијски процес. Хемијски процеси проузрокује експлозију неког затвореног система у коме настају при чему ослобађају топлотну енергију и гасовите продукте што доводи до повећања притиска и повећања броја молова материје унутар система. Хемијски процеси су процеси који доводе до појаве детонације, дефлаграције или сагорења.

Сагоревање је хемијски процес праћен релативно брзом реакцијом оксиданса и горива, која резултира топлотном енергијом, ослобађањем гасова, светлости, дима и/или неких других физичких ефеката. На основу ослобођене енергије, енергетске материје се могу поделити у две класе: 1) хемијске енергетске материје и 2) нуклеарне хемијске материје.

Хемијске енергетске материје чије разлагање доводи до прегрупписавања валентних група атома и/или молекула. Подела је извршена на основу намене, употребе, осетљивости и начина трансформације потенцијалне у кинетичку енергију.

Енергетске материје се деле на четири основне групе: 1) *Експлозиви*, 2) *Ракетна горива* и 3) *Пиротехничке смеше* или *Артифиције*.

Експлозиви су хемијска енергетска једињења или смеше које под дејством спољног утицаја топлоте, варнице, удара, трења отвореног пламена, ударног таласа или других физичких ефеката се неконтролисано разлажу уз ослобађање топлоте, стварајући гасовите продукте и нагли пораст притиска. Ослобођена енергија се претвара у рад ударног таласа експандирајућих гасова.

Барути и ракетна горива су хемијске смеше једињења које под дејством спољног утицаја топлоте, отвореног пламена или других утицаја се разлажу уз ослобађање топлоте и гасовитих продуката, али уз умерени пораст притиска. Ослобођена енергија се у овом случају користи за вршење рада путем контролисане екпанзије гасовитих продуката, као што је пропулзија муницијских и топовских зрна, ракетна пропулзија, генератори гаса, ваздушни јастуци, падобрани, кочнице и друго.

Пиротехничке смеше или артифиције су хемијске материје и њихове смеше које иницирањем доводе до спорих хемијских реакција, услед чега се ослобађа топлотна енергија и врло често гасовити продукти. Ослобођена енергија се користи за стварање секундарних ефеката услед сагоревања као што су пламен, топлота, емисија гасова и друго, без могућности да произведе експлозију, односно детонацију.

Енергетске особине енергетске материје се огледају у два типа хемијских реакција, један је хемијско разлагање, а други је хемијско сагоревање.

Хемијско разлагање ендотермних једињења која имају већу енергију од суме енергија појединачних материја од којих су настали, могу да се разложе готово тренутно. Стварање молекула из елемената се одвија апсорбцијом топлоте, у току хемијског разлагања на елементе или молекуле долази до ослобађања топлоте. Без обзира што не садрже кисеоник, подлежу реакцији редукције. Репрезентативан пример је олово-азид:



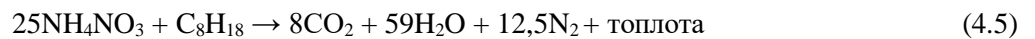
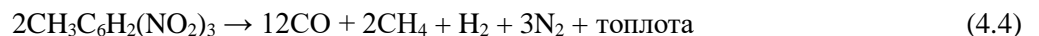
Са друге стране ендотермна једињења која садрже мање енергије од суме енергија од којих су настали, а која садрже кисеоник, такође тренутно подлежу разлагању, односно детонацији. Ослобађање веће количине енергије услед садржаја кисеоника као производа примарног разлагања у секундарним реакцијама се сједињују са кисеоником у егзотермним реакцијама при чему се ослобађа већа количина топлоте од топлоте примарног хемијског разлагања. Репрезентативан пример представља нитроглицерин.

Сагоревање представља оксидо редукциони процес, током кога се паралелно одвијају два хемијска процеса један је оксидација, а други редукција. Главну улогу имају оксиданс и гориво, оксиданс је најчешће кисеоник или једињење које садржи кисеоник, а метали могу да буду гориво. Осим кисеоника као оксиданс се користе: халогени елементи или разна органска једињења која их садрже. Процес сагоревања се овија искључиво у парној фази.

Иницијалне и бризантне експлозивне материје сагоревају искључиво уколико су испуњени одговарајући услови, док је сагоревање основни процес разлагања барута и ракетних горива. Структура пламена зависи од састава погонске експлозивне материје. Пламен се налази на одређеној удаљености у односу на површину сагоревања.

Ослобођена топлота код егзотермних реакција зависи од природе реактаната и њихових топлота стварања. Експерименталним путем у калориметарској бомби се одређује оптимална комбинација горива и оксиданса.

Кључни елементи који дефинишу брзину сагоревања је калорична вредност реактаната, однос реактаната, физичког стања реактаната, степена хомогенизације и других фактора. Нека хемијска једињења и њихиве смеше могу да сагоревају без атмосферског кисеоника, јер у својој структури имају једињење које делује као гориви и једињење које делује као оксиданс. Примера ради црни барут, бризантни експлозив TNT и индустријски експлозив „ANFO”, сагоревају без атмосферског кисеоника. Хемијске реакције су следеће:



У својој структури експлозивни садрже угљеник, водоник, кисеоник, азот, халогене елементе и метале. Након хемијске реакције разлагања као производи се јављају: вода, угљен моноксид, угљен диоксид, молекуларни азот, метални оксид, метални халогениди, халогеноводоници, азотни оксиди и други. Постоји пет правилних начина стварања продуката разлагања експлозива и то (Orbović, 2020):

- **Kristiakowski- Wilson** - ово правило дефинише четири фазе стварања производа разлагања и важи за експлозиве са билансом кисеоника -40% са следећим редоследом приоритета:

1. $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$ – угљеник се оксидује у угљен-моноксид,
2. $2\text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ – ако има више кисеоника, водоник се оксидује у воду,
3. $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2$ – ако има више кисеоника, угљен-моноксид се оксидује у угљен диоксид,
4. N_2 – целокупни азот се трансформише у молекулски азот.

- **Модификовано Kristiakowski- Wilson-** ово правило дефинише четири фазе стварања производа разлагања и важи за експлозиве са билансом кисеоника -40% са следећим редоследом приоритета:
 1. $2\text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ – водоник се оксидује у воду,
 2. $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$ – ако има више кисеоника у молекулу, угљеник се оксидује у угљен-моноксид,
 3. $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2$ – ако има више кисеоника, угљен-моноксид се оксидује у угљен-диоксид,
 4. N_2 – целокупни азот се трансформише у молекулски азот.
- **Springall- Roberts-** ово правило је модификација Kristiakowski-Wilson-овог правила са придодатим приоритетима:
 1. $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$ – угљеник се оксидује у угљен-моноксид,
 2. $2\text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ – ако има више кисеоника, водоник се оксидује у воду,
 3. $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2$ – са преосталим кисеоником, угљен моноксид се оксидује у угљен-диоксид,
 4. N_2 – целокупни азот се трансформише у молекулски азот,
 5. једна трећина угљен-моноксида се диспропорционише у угљеник и угљен-диоксид,
 6. ако има више водоника, једна шестина угљен моноксида се претвара у угљеник и воду.

Карактеристика наведена под редним бројем 6. се примењује за разлагање експлозива који у својој структури садрже водоник, у ком водоник реагује са кисеоником из угљен-моноксида.



- **Keshavarz-** ово правило дефинише да се скоро сав азот трансформише у молекулски азот, флуор у флуороводоник, хлор у хлороводоник, док се један део кисеоника трансформише у воду. Угљеник се трансформише у највише случајева у угљен моноксид него у угљен диоксид и
- **Kambel– Jakob-** ово правило дефинише да се сав водоник трансформише у воду и ако преостане кисеоника, ствара угљен-диоксид. Азот се трансформише у молекулски азот. На основу правила не ствара се угљен моноксид, већ се сав преостали угљеник који није везан у угљен-диоксиду остаје као гасовити графит или чађ.

Експлозивни са бруто формулом CHNOMX (M – метал, X - халоген), на основу чега се дефинише следећа хијерархија, односно редослед приоритета:

1. $\text{M} + \text{X} \rightarrow \text{MX}$ (метални халогениди),
2. $\text{H} + \text{X} \rightarrow \text{HX}$,
3. $\text{M} + \text{O} \rightarrow \text{MO}$ (метални оксиди у највишем оксидационом стању),
4. $2\text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$,
5. $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$,
6. $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2$,
7. $2\text{N} \rightarrow \text{N}_2$,
8. $\text{O} \rightarrow \text{O}_2$,
9. $2\text{H} \rightarrow \text{H}_2$.

Адекватан пример разлагања је нитроглицерин, опште формуле:

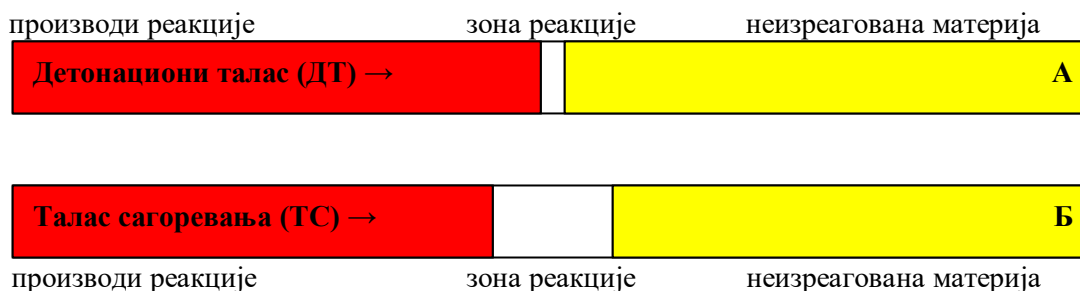


У другој фази реакције производи се стварају на основу приоритета правила:



Производи реакције услед вишка кисеоника и позитивног биланса кисеоника, јер се водоник и угљеник трансформишу у угљен диоксид и воду. У току разлагања долази и до повећања количине материје, јер један мол нитроглицерина даје 7,25 молова производа реакције. У савременом добу експлозивни се користе најчешће у следеће сврхе: за сечење, бушење, варење метала, обликовање металних плоча, контролисано рушење индустријских димњака, контролисано рушење зграда или њихових делова у урбаним срединама, чишћење парних котлова од каменца и пробијање тунела. Процес детонације и накнадни процес експлозије су два одвојена неконтролисана процеса.

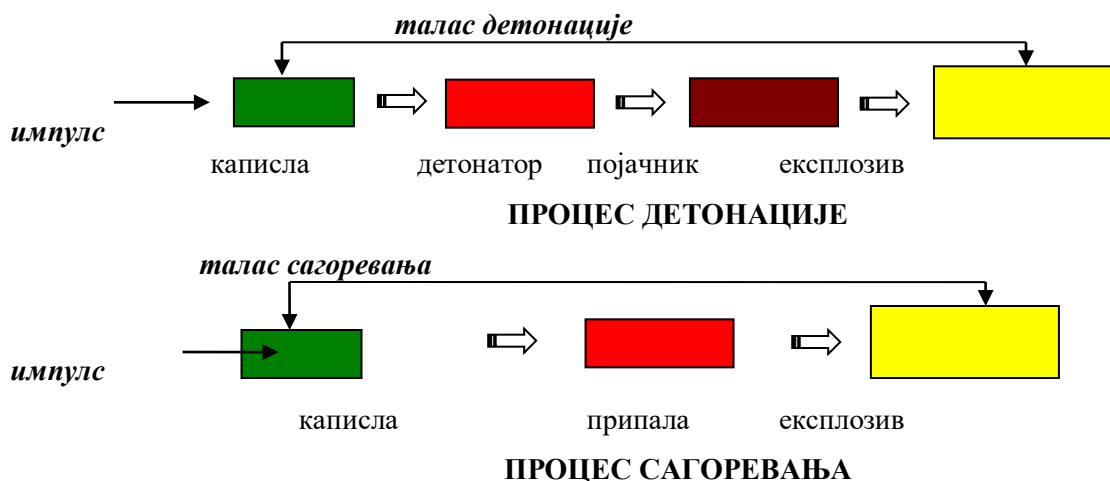
Хемијски експлозивни и енергетске материје су једини могући узрочници појаве детонације и експлозије. Детонација је хемијска реакција док је експлозија секундарни физички ефекат који се јавља као последица хемијских процеса, топлоте и ослобођења гасова. Детонација представља тренутно сагоревање експлозива или претварање чврстих, течних или гасовитих материја у гасовите продукте који експандирају што има за последицу ослобађање топлоте, притиска и нус појава. Сумарни ефекат детонације и експлозије представља експлозивни процес. Процес подразумева превођење потенцијалне у кинетичку енергију, односно механички рад. Процес сагоревања и детонације се разликују у брзини преноса енергије из зоне реакције у фронт простирања процеса. Начин преноса је шематски приказан на Слици 4.2.



Слика 4.2. Детонациони талас (ДТ) и талас сагоревања (ТС)

Механизам таласа сагоревања је подзвучни ефекат и обухвата процес преноса енергије Б са широком зоном реакције. Други механизам је брз процес који се одвија помоћу детонационог таласа (ДТ). Ударни талас представља детонациони талас у реактивној средини. У зависности од материје и услова под којима се одвијају, хемијске реакције се одвијају различитим брзинама. Брзина хемијске реакције дефинише три типа хемијског разлагања: 1) *Детонација*, 2) *Дефлаграција* и 3) *Сагоревање*.

Уколико је брзина хемијске реакције већа од брзине звука кроз експлозивну материју та хемијска реакција се назива **детонација**. Гасовити продукти реакције загрејани на високој температури подлежу снажној експанзији, услед разлике у притисцима унутар експлозивне масе и околине. Последица овакве експанзије зове се **експлозија**. Брзина хемијске реакције која је мања од брзине звука кроз експлозивну материју назива се **дефлаграција**. Када се хемијска реакција подвија по површини експлозивне материје загрејани продукти могу у потпуности да напусте зону реакције у току процеса без пораста притиска. Овакав процес се назива **сагоревање**. Поређење сагоревања и детонације је приказано на Слици 3.3.



Слика 4.3. Поређење процеса детонације и сагоревања

Да би експлозивни процес био самораспростирући потребан услов је и присуство гасовитих производа. Након детонације загрејани гасовити производи преносе енергију на околину, као последица претварања кинетичке у потенцијалну енергију. Главни утицај на повећање притиска и рушилачко дејство имају гасовити производи хемијске реакције. Брзина детонационог процеса зависи од преноса енергије из зоне хемијских реакција у фронт процеса, што се манифестује преко ударнох таласа. Експлозиви у просеку при устаљеном режиму детонације ослобађају од 1000 до 1300 dm³ експлозивне материје.

4.4. Експлозија

Berthelot је 1883. године дао опште признату дефиницију за експлозију као „наглу експанзију гасова у запремини много већој од почетне, која је праћена снажним звучним и механичким ефектима”. Експлозије се деле на две врсте: *физичка* и *хемијска експлозија* (Blomqvist, 2005; Moussa et al., 1998).

Физичка експлозија представља физички процес затворени систем гасова код кога се остварује висок притисак и /или висока температура. Услови се остварују физичким процесом, додавањем гаса или подизањем температуре. Притисак који се оствари унутар система доводи до пуцања зидова или под утицајем температуре зидови се топе, након чега долази до нагле експанзије компримованог и загрејаног гаса, услед разлике у притисцима унутар процеса и околног ваздуха. Енергија ослобођена у току физичке експлозије израчунава се на основу следеће формуле:

$$E = \frac{P - P_{atm}}{\gamma - 1} \cdot V \quad (4.12)$$

где је:

- Е – ослобођена енергија (kJ),
- Р – унутрашњи притисак непосредно пре експлозије (kPa),
- P_{atm} – атмосферски притисак (101,3 kPa),
- γ – коефицијент топлотних капацитета гасова,
- V – запремина система пре експлозије (m³).

Подразумева физички процес једног затвореног система код кога се остварује висок притисак и/или температура. Услови се остварују хемијским процесом. Најзаступљенији облик хемијске експлозије је детонација или хемијско разлагање експлозива.

Количина ослобођене енергије се израчунава на основу формуле, на следећи начин:

$$E = \frac{\Delta H_r \cdot m}{Mm} \quad (4.13)$$

где је:

E – ослобођена енергија (kJ),
 ΔH_r – топлота реакције (kJ/kmol),
 m – маса експлозива (kg),
 Mm – моларна маса (kg/kmol).

Преко формуле може се израчунати само рушилачка или разорна снага експлозивне материје, као што је релативна рушилачка снага (PPC) и релативна потенција на следећи начин:

$$PPC = \left[\frac{d \cdot V_d^2}{d_0 \cdot V_{dr}^2} \right]^{1/3} \quad (4.14)$$

$$PII = \frac{\Delta H \cdot V_d \cdot d}{\Delta H_0 \cdot V_{dr} \cdot d_0} \quad (4.15)$$

где је:

ΔH – топлота експлозије узорка (kJ),
 ΔH_0 – топлота експлозије референтног узорка (kJ),
 d – густина узорка (g/cm³),
 d_0 – густина референтног узорка (g/cm³),
 V_d – брзина детонације узорка (m/s),
 V_{dr} – брзина детонације референтног узорка (m/s).

Према научнику „Berthelot” – у на основу кога је метода добила име израчунава се еквивалентност у процентима, што представља однос снаге појединачног експлозива и тринитриотолуена, TNT- а. Снага експлозива се дефинише као производ топлоте експлозије и специфичне гасне запремине производа детонације. Да би се топлота детонације претворила у механички рад условљено је количином гасовитих производа који су ослобођени при детонацији. Релативна експлозивна снага експлозива је одређена на основу TNT, при чему је узет фактор 840, за топлоту експлозије и број молова гасовитих производа и израчунава се према формули на следећи начин:

$$PEC_{\%TNT} = 840 \frac{\Delta n \cdot \Delta H_{eks}}{(Mm)^2} \quad (4.16)$$

где је:

ΔH_{eks} – топлота експлозије одређеног експлозива,
 Δn – број молова гасовитих производа по молу експлозива,
 Mm – моларна маса узорка.

На основу енергије експлозије и механичког рада који мође да оствари, може се извести изентропијска експанзија гасова, при чему се енергија добија при паду притиска од P_{cj} до P_A и назива се функција хидродинамичког рада. Проблематика одређивања еквивалентности према овој методи је што се састав гасовитих продуката и топлотни капацитет гасовитих продуката мења од високог притиска и температуре

до ниског притиска и температуре. На основу напред наведеног, механички рада се израчунава према формули на следећи начин:

$$W = \int_{P_{CJ}}^{P_A} P \cdot V \cdot dV = 0,5 \cdot \frac{P_{CJ}}{d_{CJ}} \quad (4.17)$$

$$d_{CJ} = 1,386 \cdot d_0^{0,96} \quad (4.18)$$

$$W = 0,36075 \cdot \frac{P_{CJ}}{d_0^{0,96}} \quad (4.19)$$

где је:

W – хидродинамички рад,
 P_A – атмосферски притисак (Pa),
 P_{CJ} – притисак детонације узорка, P_{CJ} (Pa),
 d_{CJ} – густина експлозива за CJ тачку (kg/m^3),
 d_0 – густина неизреагованог експлозива (kg/m^3).

Еквивалентност експлозива се може израчунати и преко импулса производа узорка и референтног узорка, који се остварују на одређеном растојању од центра експлозије, преко формуле на следећи начин:

$$E_i = \frac{I_m}{I_p} \quad (4.20)$$

где је:

E_i – еквивалентност према импулсу,
 I_m – импулс гасовитих производа на датом растојању (Pas),
 I_p – импулс гасовитих производа референтног узорка на датом растојању (Pas).

Експлозив масе m_1 проузрокује неки надпритисакна удаљености R_1 од центра експлозије и та удаљеност може да се умањи пропорционално кубном корену дајући умањену вредност Z . Умањена вредност се може приказати формулом, на следећи начин:

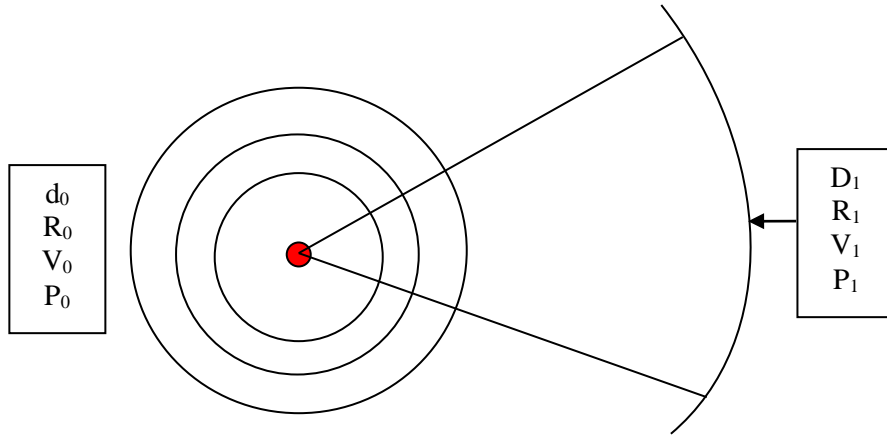
$$Z = \frac{R_1}{m_1^{1/3}} = \frac{R_2}{m_2^{1/3}} \quad (4.21)$$

где је:

Z – скалирано растојање ($\text{m/kg}^{1/3}$),
 R_1, R_2 – реална растојања (m),
 m_1, m_2 – масе експлозива (kg).

Формула се примењује почевши од сферног облика детонације код TNT – а, након чега долази до експанзије гасовитих продуката детонације која се простиру у облику сфере надпритиска. Предмет ове формуле су два гранична стања процеса, стање пре експлозије или експанзије гасовитих производа разлагања, а након завршетка детонационог разлагања, а друго стање након одређеног времена, после почетка експлозивне експанзије гасовитих производа детонације. На самом почетку процеса, после детонације експлозива, а пре експанзије гасовитих производа имају следеће карактеристике: притисак детонације P_0 , густина производа детонације d_0 , запремина производа детонације V_0 и полупречник

детонационе сфере R_0 . Запремина производа детонације и полупречник детонационе сфере су исте као и код неизреагованог експлозива. Након експанзије у облику сфере, гасовити производи имају следеће карактеристике: притисак детонације P_1 , густину производа детонације d_1 , запремина производа детонације V_1 и полупречник сфере R_1 . У оба стања маса гасовитих производа је идентична са почетном масом експлозива, ако се занемари реакција сагоревања са атмосферским кисеоником. Наведена стања се могу шематски приказати као на Слици 4.4.



Слика 4.4. Приказ експлозије у простору (McGratten et al., 1993)

Узимајући у обзир однос притисака P_1/P_0 , можемо дефинисати односе, узимајући у обзир сферне форме детонационог и експанзионог стања, према формули на следећи начин:

$$\frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{d_1}{d_0}\right)^2 = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^2 = \left(\frac{R_0^3}{R_1^3}\right)^2 \quad (4.22)$$

На основу чега израчунавамо полупречник експанзионог стања R_1 :

$$R_1 = R_0 \cdot \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{1/6} \quad (4.23)$$

Ако узмемо у обзир запремину сфере, $V=4/3R^3\pi$, а запремина једнака запремини детонационог стања V_0 , а полупречник сфере R једнак полупречнику детонационог стања R_0 , а према формули се израчунава на следећи начин:

$$V = \frac{4}{3} \cdot R^3 \cdot \pi \equiv V_0 = R_0^3 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \quad (4.24)$$

Следи да је R_0 :

$$R_0 = \left(\frac{3 \cdot V_0}{4 \cdot \pi}\right)^{1/3} = 0,62045 \cdot V_0^{1/3} \quad (4.25)$$

Густина експанзионог стања се израчунава преко односа масе и почетне запремине експлозива:

$$d_0 = \frac{m}{V_0} \equiv V_0 = \frac{m}{d_0} \quad (4.26)$$

и када се изврши замена у претходној формули, следи да је:

$$R_0 = 0,62035 \cdot \left(\frac{m}{d_0}\right)^{1/3} \equiv R_0 = 0,62045 \cdot \left(\frac{kg}{d_0}\right)^{1/3} \quad (4.27)$$

Када R_0 заменимо и једначини за полупречник експанзионог стања R_1 , следи да је:

$$R_1 = 0,62045 \cdot \sqrt[3]{\frac{kg}{d_0}} \cdot \sqrt[6]{\frac{P_0}{P_1}} \quad (4.28)$$

Величине P_0 и d_0 су константе за експлозив, као и натпритисак за одређено безбедносно растојање. Ако све три константе објединимо у нову константу, добијамо једначину за полупречник експанзионог стања, који представља растојање границе сфере од центра експлозије:

$$R_1 = k \cdot \sqrt[3]{kg} \equiv k = \frac{R_1}{\sqrt[3]{kg}} \quad (4.29)$$

4.5. Иницијалне експлозивне материје

Намена иницијалних експлозива је за иницирање других врста експлозива најчешће бризантних давањем импулса. Користе се у чистом или стању смеше са примесима. Користе се за иницијалне каписле преноснике и детонирајуће штапине. Осетљиви су на удар, трење и иницијацију спољним пламеном или бризантним експлозивима. Карактеристике их мања запремина гасовитих продуката од бризантних експлозива, живиног фулмината. У иницијалне експлозиве спадају: живин фулминат, олово азид, олово тринитрирезоринат и тетразен (Marinković, 1959; Orbović, 2020).

4.5.1. Живин фулминат

Уколико се налази у сувом стању, веома је осетљив на удар, трење, искру и пламен. Присутством воде се смањује његова способност детонације. Флегматизација се постиже додатком уља и парафина. Приликом лабораторије у облоге које су од алуминијума, магнезијума, бакра или цинка зидови се морају премазати лаком који ће имати улогу изолатора. Користи се у иницијалним средствима.

Продукти разлагања живиног фулмината су изузетно корозивни и токсични па се приликом употребе мора водити рачуна о начину коришћења и лабораторије. У контакту са концентрованом сумпорном киселином живин фулминат детонира. Карактеристике су приказане у Табели 4.1.

Табела 4.1. Карактеристике живиног фулмината (Orbović, 2020; Meyer et al., 2007; Maksimović, 1972.).

Емпиријска формула	$C_2N_2O_2Hg$
Структурна формула	$Hg(C\equiv NO)_2$
Боја	Варира од беле до затворено сиве
Молекулска маса	284,6
Енергија формирања	958 kJ/kg
Енталпија формирања	941 kJ/kg
Биланс кисеоника	-11,2%
Садржај азота	9,84%
Топлота експлозије	1735 kJ/kg
Густина	4,42 g/cm ³
Тачка дефлаграције	165° C
Специфична тежина	4,71 g/m ³
Гравиметријска густина	1,75 g/cm ³
Температуре експлозије	4350 ° C
Специфична гасна запремина	316 l/kg
Брзина детонације	2250-5400m/s
Осетљивост на удар	1-2 Nm

Слика 4.6. Живин фулминат (<http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatyeveshchestva>)

Има слadak укус. Отрован је уколико доспе у организам, као и све живине соли. Опасност тровања се јавља код радника који раде на технолошкој линији за производњу, у фази потапања у азотну киселину и синтезом фулмината се развијају нитрозни гасови. У колонама за прихватање етилалкохола налазе се етилнитрати и нитрити и ацеталдехид заједно са алкохолом. Да не би дошло до тровања радника морају апарати и цевоводи да буду херметични.

4.5.2. Олово азид

Синтезу олово азида је извршио Т. Curtius 1891. године, а први пут се користи у наменској, односно индустрији за производњу експлозива заслугом (Hyronimus, 1971)

Представља со азотоводоничне киселине и олова. Веома је осетљив на удар, трење и статички електрицитет. Има одличну моћ иницирања и много је ефикаснији од живиног фулмината. Користи се уз мали додаток олово – тринитрорезорцината, ради повећања осетљивости на пламен и варницу, а у циљу производње детонаторских каписли. Карактеристике су приказане у Табели 4.2.

Табела 4.2. Карактеристике оловоазида (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	Pb(N₃)₂
Структурна формула	N≡N=N–Pb–N=N≡N
Боја	Варира од светломрке до тамномрке
Молекулска маса	291,3
Енергија формирања	1663 kJ/kg
Енталпија формирања	1637 kJ/kg
Биланс кисеоника	-5,5%
Садржај азота	28,85%
Топлота експлозије	1735 kJ/kg
Густина	4,42 g/cm ³
Тачка топљења	245 – 250 °C
Тачка дефлаграције	320 – 360° C
Топлота експлозије	1540 kJ/kg
Топлота сагоревања	2636 kJ/kg
Специфична тежина	4,71 g/cm ³
Гравиметријска густина	1,75 g/cm ³
Температуре детонације	3720 °C
Запремина гасовитих продуката	231 l/kg
Специфична гасна запремина	308 dm ³ /kg
Брзина детонације	4500 – 5300 m/s
Осетљивост на удар	2,5 – 4 Nm
Осетљивост на трење	0,01 N
Брзина детонације	3830 – 5200 m/s

Експлозивно хемијско разлагање олово азид се одвија према следећој термохемијској једначини:



Процес хемијског разлагања олово азид се одвија у две фазе. Прва реакција је ендотермна са потрошњом 213 kJ:



У другој реакцији атомски азот реагује са другим азидним анјоном дајући још два молекула азота, што је укупно три молекула азота уз егзотермну реакцију са 657 kJ:



Ослобођена енергија, заједно са гасовима загрејаним на високој температури ствара ударни талас који иницира секундарне експлозиве.

Токсичност олово азид се поклапа са токсичношћу метала. Оловоазид може изазвати и кожна обољења. Осетљив је на механичке ударе и осетљивост се може повећати са повећањем садржаја воде. Под оптималним условима може да детонира спонтано. Олово азид је јак иницијални експлозив који се одликује великом способношћу детонације, јер и веома мале концентрације могу да активирају бризантне експлозиве.

4.5.3. Оловотрирезорцинат – оловостифнат

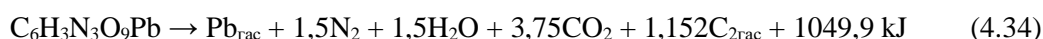
Не топи се у води, хлороформу, бензену и толуену, а веома слабо у ацетону и етанолу.

Релативно је стабилан и не реагује са металима и другим експлозивима. Осетљив је на варницу, пламен и електростатички електрицитет. Користи се најчешће у комбинацији са синоксидном смешом због смањења ерозије на облогу детонаторске каписле. Повећањем садржаја воде смањује се осетљивост на удар. На повишеним температурама, око 100° С долази до разлагања, а на вишим температурама до дефлаграције.

Табела 4.3. Карактеристике оловотринитрорезорцината (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$C_6H_3N_3O_9Pb \cdot H_2O$
Боја	Наранџасто црвена
Молекулска маса	468,3
Енергија формирања	-1747,2 kJ/kg
Енталпија формирања	-1786,9 kJ/kg
Биланс кисеоника	-22,2%
Садржај азота	8,97%
Топлота експлозије	1549 kJ/kg
Топлота сагоревања	5234 J/g
Густина	3,0 g/cm ³
Тачка дефлаграције	275 – 280° С
Специфична тежина	3,1 g/cm ³
Гравиметријска густина	1,6 g/cm ³
Температуре експлозије	2700 ° С
Запремина гасовитих продуката	386 l/kg
Брзина детонације	2100 – 5200 m/s
Осетљивост на удар	2,5 – 5 Nm
Осетљивост на трење	0,8 N
Осетљивост на варницу	0,0001 J

Експлозивно хемијско разлагање олово тринитрорезорцината, неутралне соли одвија се према следећој термохемијској једначини:



Токсичност је идентична као и код олово азида. Мање је осетљив на удар, а осетљивији је на трење у односу на живин фулминат и оловоазид. Највећи ризик се јавља од набоја статичког електрицитета. Производња оловотрицината је углавном у смешама.

4.5.4. Тетразен

Поседује базне особине и растворљив је у хлороводоничној киселини, а на повишеним температурама до 75° С је стабилан, сув или влажан и почиње да се распада преко 100 ° С. Инертан је према металима и другим експлозивима.

Хемијско разлагање се одвија према следећој термохемијској једначини:



Табела 4.4. Карактеристике тетразена (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$C_2H_8N_{10}O$
Боја	Варира од беле до жућкасте
Молекулска маса	188,2
Енергија формирања	1130kJ/kg
Енталпија формирања	1005 kJ/kg
Биланс кисеоника	-57,6%
Топлота стварања	1,005 kJ/kg
Топлота експлозије	2755 J/g
Специфична гасна запремина	1190 dm ³ /g
Садржај азота	74,73%
Густина	1,7 g/cm ³
Тачка дефлаграције	140° C
Осетљивост на удар	1,4 Nm
Осетљивост на варницу	0,01 J

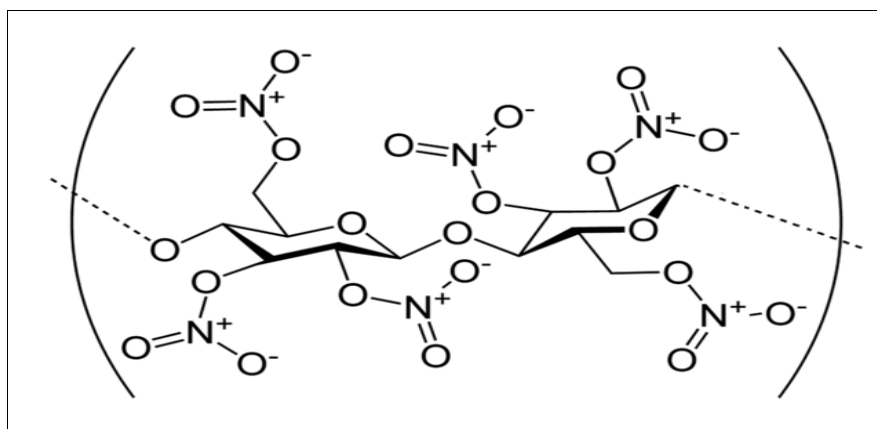
4.6. Еколошки примарни експлозививи

Примарни експлозививи који се највише користе за иницијацију су олово азид и олово стифнат и оба садрже олово, врло отрован елемент који се међу производима разлагања налази у течном или гасовитом стању. У последње време се врше испитивања алтернативних примарних експлозивива, ради смањења штетности по околину са идентичним иницијалним способностима и функционалним ефикасностима. Једињења која ће се користити су следећа адекватна заменска једињења уместо олово азида су: 1) Сребро азид, AgN_3 , 2) Сребро-5-нитро-Н-тетразолат, CN_5O_2Ag , 3) Бакар-II-етилендинитрамин, $C_2H_4N_4O_4Cu$ и 4) Калијум-динитроацетонитрил, $C_2N_3O_4K$. Адекватна заменска једињења уместо олово стифната су: 1) 5-пикриламинотетразол, $C_7H_4N_8O_6$, 2) 5-гваниламино-Н-тетразолијум-нитрат монохидрат, $C_4H_{14}N_{16}O_7$, 3) 5,5-хидразо-ди-Н-тетразол, $C_2H_4N_{10}$ и 4) Калијум-4-хидрокси-5,7-динитро-4,5-дихидробензофуроксан, $KDNBF$, $C_6H_3N_4O_6K$.

4.7. Бризантне експлозививне материје

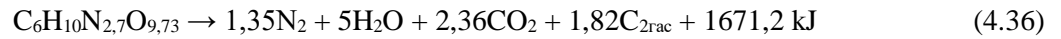
4.7.1. Нитроцелулоза

Нитроцелулоза, нитрат целулозе, NC је нитроестар дрвне или памучне целулозе, експлозив велике осетљивости и снаге, а структура полимера је приказана на Слици 29 (Maksimovic, 1985; Uputstvo za skladištenje UbS, 2020; Moussi i Deverakonda, 2014; Muthurajan i Ghee, 2008; Karim et al., 2016.; Mitchell i Suggs, 1998; Aurell et al., 2014; Bajcetic i Srdjevic, 2007; Čenas, 2007).



Слика 4.13. Структурна формула нитроцелулозе
(<https://sites.google.com/site/energeticchemical/nitroceculose>)

Давне 1832. и 1838. године направљени су први кораци и покушаји нитровања скроба, памука, дрвених влакана и папира са концентрованом азотном киселином. Формална година открића нитроцелулозе се сматра 1845. година, нитровањем смеше азотне и сумпорне киселине, идејом научника Schönbein-a. Историјат производње нитроцелулозе повезује са производњом експлозива за војне сврхе 1866. године. Хемијским разлагањем нитроцелулозе настаје егзотермна реакција са ослобођеном топлотом која је директно пропорционална садржају азота. Примера ради хемијско разлагање нитроцелулозе са 13,3% азота, може се приказати путем следеће термохемијске једначине:



Постоје више врста нитроцелулозе које се производе у свету са различитим садржајем азота:

- *Пироксилин или клодион*, са садржајем азота од 8 до 12%,
- *Пироцелулоза*, са садржајем азота од 12,6±0,10%,
- *Guncotton*, са садржајем азота од 13,35 до 13,45%,
- *Нитроцелулоза* са високим садржајем азота, са садржајем азота од 13,75 до 14,14% и
- *Мешана нитроцелулоза* са 60-65% guncotton-а са садржајем азота од 13,4% и 35-40% пироцелулозе са садржајем азота од 12,6%.

Табела 4.5. Карактеристике нитроцелулозе (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$C_6H_7N_3O_{11}$
Боја	Варира од беле до жућкасте
Молекулска маса	296,95
Садржај азота	12,2-13,45%
Брзина детонације	6300 m/s
Биланс кисеоника	-28,7%
Топлота стварања	-2582 kJ/kg
Топлота експлозије	4408 kJ/kg
Температура детонације	3100 °C
Специфична гасна запремина	765 dm ³ /g
Густина	1,67 g/cm ³
Осетљивост на удар	3 Nm
Осетљивост на трење	353 N

4.7.2. Нитроглицерин

Нитроглицерин је снажан бризантни експлозив, врло осетљив на спољне утицаје.

Хемијско разлагање се одвија на основу термохемијске једначине:



Нитроглицерин је естар глицерина и азотне киселине. Врло је мало растворљив у води и хигроскопан је у условима високе влажности.

Табела 4.6. Карактеристике нитроглицерина (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9$
Боја	Варира од безбојне до слабожућкасте
Молекулска маса	227,1
Садржај азота	18,50%
Брзина детонације	7600 m/s
Биланс кисеоника	3,5%
Топлота стварања	-1633 kJ/kg
Топлота експлозије	6766 kJ/kg
Температура детонације	4250 °C
Специфична гасна запремина	715 dm ³ /g
Густина	1,59 g/cm ³
Осетљивост на удар	0,2 Nm
Осетљивост на трење	353 N

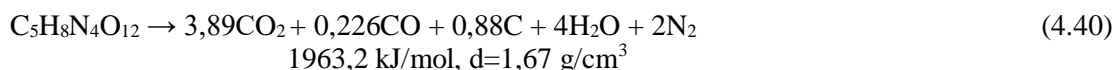
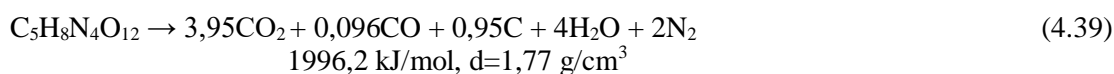
4.7.3. Пентаеритритол-тетранитрат

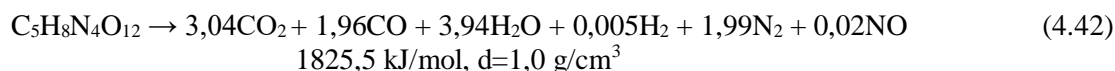
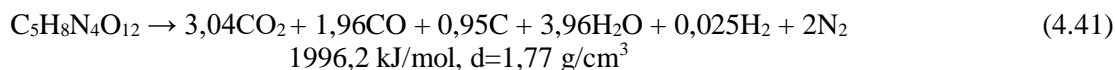
Пентаеритритол-тетранитрат је врло снажан бризантни експлозив. Структурна формула је:

Хемијско разлагање се одвија на основу следеће термохемијске једначине:



Експлозив представља естар пентаеритритола и азотне киселине. При складиштењу на температури 65 °C и вишој не мења своју стабилност, али повећава киселост и долази до брзог разлагања, па га није пожељно складиштити у тропским условима. У зависности од густине постоје четири једначине термохемијског разлагања са различитим производима и топлотама детонације.





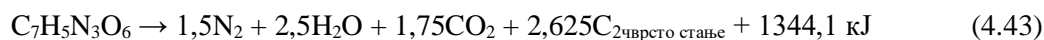
Табела 4.7. Карактеристике пентаеритритол-тетранитрат (Orbović,2020)

Емпиријска формула	C₅H₈N₄O₁₂
Боја	Бела
Молекулска маса	316,1
Садржај азота	17,72%
Брзина детонације	400 m/s
Биланс кисеоника	3,5%
Гоплота стварања	-1683 kJ/kg
Гоплота експлозије	6404 kJ/kg
Температура детонације	4230 °C
Специфична гасна запремина	768 dm ³ /g
Густина	1,76 g/cm ³
Осетљивост на удар	3 Nm
Осетљивост на трење	60 N

4.7.4. Тринитротолуен - TNT

Тринитротолуен је нитродериват толуена, експлозив велике снаге.

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



Слика 4.17. Олово тринитрорезорцинат (http://www.powerlabs.org/chemlabs/lead_trirezorcinate.htm)

Први научници који су нитровали ароматичне угљоводонике, а међу њима и толуен су „Bilstein” и „Kuhlberg”. Структурну формулу су дефинисали 1883. године „Claus” и „Besker”. Предности TNT ниска цена производње, безбедан је при манипулацији, складиштењу и транспорту и компатибилан са осталим експлозивима. Приликом сагоревања на ваздуху сагорева жућкастим пламеном уз ослобађање густог дима, услед слободног угљеника јер има негативни биланс кисеоника. Лаборише се у тренутно фугасним

пројектилима и минско експлозивним средствима, а има широку примену и у привредним експлозивима. Може се лабораторисати у убојна средства разним технолошким процесима, а најчешће ливењем и пресовањем. Ливени се иницира појачником, док се пресовани иницира детонаторском капислом. Користи се у пракси најчешће као смеша на бази тринитротолуена у различитим комбинацијама и саставима:

- *аматоли*, смеша тринитротолуена и амонијум нитрата,
- *амонали*, смеша тринитротолуена, амонијум нитрата и алуминијума у праху,
- *пентолити*, смеша тринитротолуена и пентрита,
- *хексотоли*, смеша тринитротолуена и хексогена и
- *октоли*, смеша тринитротолуена и октогена.

Настанком вишкова експлозива нарочито у војним организацијама свих земаља у свету, јавља се велика потреба за уништавањем вишкова, заосталих, убојних средстава на истеку рока употребе, нестабилних убојних средстава и неексплодираних убојних средстава. Најнеприхватљивији начин уништавања убојних средстава је сагоревање и детонација на отвореном простору са аспекта заштите животне средине и безбедности. На основу наведеног произашла је потреба проналажења начина еколошког или што је могуће прихватљивијег начина уништавања по животну средину. У току је истраживање и развијање општеприхватљивих метода конверзије енергетских материјала у употребљиве производе. Произилази решење да се тринитротолуен користи за синтезу других енергетских и комерцијалних материја. На Слици 4.18., приказани су правци развоја хемијске прераде и хемијској индустрији експлозива као алтернативни начин превазилажења проблема око уништавања убојних средстава.



Слика 4.18. Правци истраживања и развоја прераде експлозива (Orbović, 2020)

Применом технологије каталитичке редуције тринитротолуена у 2,4,6-триаминотолуен, ТАТ, може се наћи примена у производњи полимерних материјала. Хемијском трансформацијом тринитротолуена у триаминотринитробензен, ТАТВ, као неосетљив експлозив.

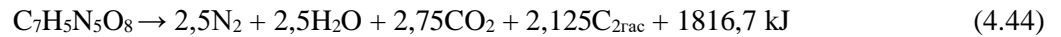
Табела 4.8. Карактеристике тринитротолуена (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$C_7H_5N_3O_6$
Боја	Бледо жут
Молекулска маса	227,1
Садржај азота	18,50%
Брзина детонације	6900 m/s
Биланс кисеоника	-13,9%
Топлота стварања	-261,5 kJ/kg
Топлота експлозије	4569 kJ/kg
Температура детонације	3630 °C
Специфична гасна запремина	768 dm ³ /g
Густина	1,65 g/cm ³
Осетљивост на удар	15 Nm
Осетљивост на трење	353 N

4.7.5. Тетрил

Тетрил је нитро и нитроамино дериват бензена, експлозив велике снаге и разорног дејства. Формула хемијске структуре тетрила је:

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



Користи се и лабораторије као секундарно пуњење детонаторских каписли, детонатора и појачника детонације у формацијским пуњењима пројектила.

Табела 4.9. Карактеристике тетрила (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$C_7H_5N_5O_8$
Боја	Безбојан
Молекулска маса	287,1
Садржај азота	34,39%
Брзина детонације	7570 m/s
Биланс кисеоника	-47,4%
Топлота стварања	117,1 kJ/kg
Топлота експлозије	4773 kJ/kg
Температура детонације	3530 °C
Специфична гасна запремина	750 dm ³ /g
Густина	1,73 g/cm ³
Осетљивост на удар	3 Nm
Осетљивост на трење	353 N



Слика 4.20. Тетрил (<http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

4.7.6. Хексоген RDX

Хексоген је циклични нитрамин који садржи три нитраминске групе наизменично распоређене у шесточланом прстену.

Намењен је за лабораторију у детонирајући штапин. Као флегматизован са воском и полимерима кориисти се за лабораторију детонаторских појачника, кумулативних пуњења, преносника детонације, експлозивних пуњења панцирне муниције. Са полимерним везивом настају PBX – plastic bonded explosives. Може се применити и као енергетска компонента у двобазним и композитним ракетним горивима. Кориисти се код производње пројектила са бојевим главама типа „High Energy”, високе енергије.

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



Табела 4.10. Карактеристике хексогена RDX (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	C₃H₆N₆O₆
Боја	Безбојан
Молекулска маса	222,1
Садржај азота	37,84%
Брзина детонације	8750m/s
Биланс кисеоника	-21,6%
Топлота стварања	318kJ/kg
Топлота експлозије	5397-5647 kJ/kg
Топлота детонације	3380 °C
Специфична гасна запремина	900dm ³ /g
Густина	1,74 g/cm ³
Осетљивост на удар	7,5 Nm
Осетљивост на трење	120 N

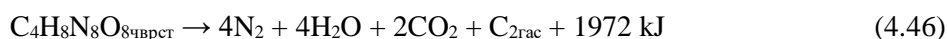


Слика 4.22. Хексоген (<http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

4.7.7. Октоген НМХ

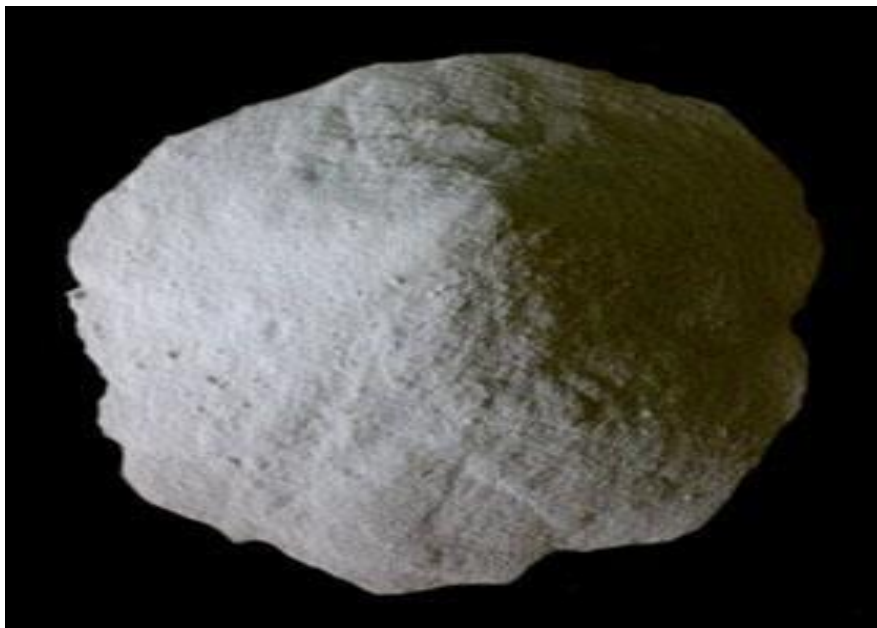
Октоген је циклични нитрамин који садржи четири нитраминске групе наизменично распоређене у осмочланом прстену (Maksimovic, 1985; Uputstvo za skladištenje UbS, 2020; Moussa i Deverakonda, 2014; Muthurajan i Ghee, H., 2008; Karim et al., 2016; Mitchell i Suggs, 1998; Aurell et al., 2014; Bajčetić i Srdjević, 2007; Čenas, 2007). Врло снажан бризантни експлозив који је данас најснажнији експлозив у масовној производњи. Користи се за производњу детонирајућег штапина и детонатора. Као неосетљив експлозив има широку примену у атомским бомбама за формирање надкритичне масе нуклеарних експлозива. Додатком алуминијума користи се за пуњење „Nonel” цеви. У смеси са TNT – ом као октол лабораторише се у бојевим главама, а користи се и у производњи барута високе енергије, CMDVB.

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



Табела 4.11. Карактеристике октогена НМХ (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8$
Боја	Безбојан
Молекулска маса	296,2
Садржај азота	37,83%
Брзина детонације	9100m/s
Биланс кисеоника	-21,6%
Топлота стварања	252,8kJ/kg
Топлота експлозије	6197 kJ/kg
Топлота детонације	3380 °C
Специфична гасна запремина	927dm ³ /g
Густина	1,96 g/cm ³
Осетљивост на удар	7,4 Nm
Осетљивост на трење	120 N

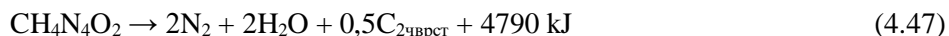


Слика 4.24. Октоген (<http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>)

4.7.8. Нитрогванидин NGV

Нитрогванидин се најчешће користи као састојак тробазних барута, јер смањује ерозију цеви. Смањује ерозију цеви више од десет пута. Има широку примену и у ракетним горивима са малим брзинама сагоревања за маршевске моторе.

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



Табела 4.12. Карактеристике нитрогванидина NGV (Orbović, 2020)

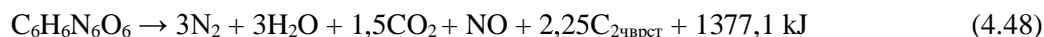
Емпиријска формула	CH₄N₄O₂
Боја	Бела
Молекулска маса	104,1
Садржај азота	53,83%
Брзина детонације	8200m/s
Биланс кисеоника	-30,7%
Топлота стварања	-893kJ/kg
Топлота експлозије	2730-3071 kJ/kg
Температура експлозије	2098 °C
Специфична гасна запремина	1042 dm ³ /g
Густина	1,71 g/cm ³
Осетљивост на удар	49 Nm
Осетљивост на трење	353 N

4.7.9. Триаминотринитробензен ТАТВ

Триаминотринитробензен ТАТВ је нитро и аминоксид дериват бензена и спада у неосетљиве експлозиве.

Експлозив се користи за смешу пластичних експлозива и у смешама са TNT – ом и лаборише се ливењем. Није компатибилан са металима као што је бакар. Као стабилан експлозив има примену у сеизмичким и дубинским претрагама земљине коре.

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



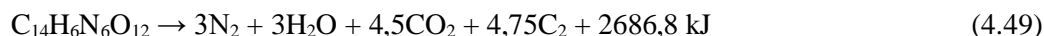
Табела 4.13. Карактеристике триаминотринитробензен ТАТВ (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$
Боја	жућкаста
Молекулска маса	258,1
Садржај азота	32,6%
Брзина детонације	7350 m/s
Биланс кисеоника	-55,8%
Топлота стварања	-541,3 kJ/kg
Топлота експлозије	3062 kJ/kg
Густина	1,93 g/cm ³
Осетљивост на удар	50 Nm
Осетљивост на трење	353 N

4.7.10. Хексанитростилбен HNS

Хексанитростилбен је термостабилни високо брузанрни експлозив. Основна примена му је у сеизмичким истраживањима и испитивањима нафтних дубина. У смеси са TNT побољшава карактеристике кристалне структуре. Највише се користи за производњу бустера и детонирајуће штапине који се примењују на високим температурама експлоатације. Значајно место у примени је нашао и у постизању надкритичних маса нуклеарних фисионих експлозива.

Хемијско разлагање се одвија термохемијском једначином:



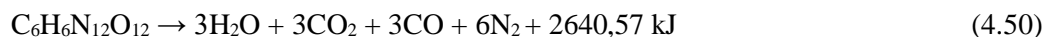
Табела 4.14. Карактеристике хексанитростилбен HNS (Orbović, 2020)

Емпиријска формула	$\text{C}_{14}\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_{12}$
Боја	жућкаста
Молекулска маса	450,24
Садржај азота	18,67%
Брзина детонације	6800-7410m/s
Биланс кисеоника	-678,6%
Енергија стварања	239,8kJ/kg
Енталпија стварања	173,8 kJ/kg
Топлота експлозије	4008-4088 kJ/kg
Густина	1,74 g/cm ³
Осетљивост на удар	5 Nm
Осетљивост на трење	240N

4.7.11. CL-20 – HNIW

Представља бризантни експлозив из групе нитрамина. Састоји се од два молекула хексогена RDX просторно повезана угљеником. Припада групи полицикличних једињења са избалансираним садржајем кисеоника. Узимајући у обзир да је веома осетљив флегматизује се различитим полимерима и флуоронитроформалима као регулаторима енергетских карактеристика. Продукти хемијског разлагања у себи садрже флуоронитроформале који су веома токсични. Структурна формула је:

Изовурцитан је кавезасти угљоводоник чији деривати имају велики садржај енергије. Хемијско разлагање CL-20 се може представити следећом једначином:



4.7.12. PBX експлозиви

Plastic Bonded Explosives – PBX су експлозиви који су умрежени или повезани пластиком или полимером. Ова врста експлозива има следеће карактеристике:

- велика механичка јачина,
- већа густина пуњења,
- добре експлозивне карактеристике са брзином детонације изнад 7800 m/s,
- слаба осетљивост при манипулацији и стабилност при складиштењу и
- термичка стабилност са температуром иницијације изнад 250 °C.

Зачетак PBX експлозива се сматра покушај стабилизације RDX облагањем кристала експлозива слојем полиуретанског везива, применом емулзионе технике. Први експлозив те врсте направљен је облагањем кристала RDX полистиреном пластифицираним диоктил-фталатом, DOP. Даљим истраживањима обухваћени су успешно и експлозиви као што је: HMX, HNS, TACOT и други. Намењени су за производњу композитних ракетних горива. PBX експлозиви у свом саставу имају кристалне експлозиве као што је: HMX, HNS, PETN, CL-20 и представљају основни састојак.

Највећа и најчешће примена је у ракетном топовском асортиману, али имају примену и у нуклеарним борбеним средствима и кумулативним пројектилима. Пластичних експлозива има неколико врста као што су:

- „**ПЕП**”, састоји се од пентрита и полимерног везива на бази полиуретана, домаће производње,
- „**C-4**”, састоји се од 91 % пластифицираног RDX, 5,5% полиизобутилена, 1,5% моторног уља и 2% 2-етилхексилсебацата као пластификатора, америчке производње и
- „**SEMTEX**”, састоји се од смеше RDX и пентрита, Чешке производње.

4.7.13. Slurry, хидрогел и емулзиони експлозиви

Експлозиви познати као хидрогел експлозиви су смеша воденог раствора оксиданса са горивима агломерантима и осталим састојцима. Разлика између хидрогел и slurry експлозива је што хидрогел садрже амонијум нитрат, експлозивне и неексплозивне стабилизаторе и гориве компоненте и примесе за желатинизацију који спречавају раслојавање и омогућавају водоотпорност. Slurry експлозиви поред наведеног садрже и компоненте које повезују чврсте компоненте и спречавају миграцију воде. Најчешћа примена за рушење, ископе и бушотине (Kubota, 2007).

Емулзиони експлозиви су смеше две течне фазе: једна је презасићени раствор амонијум нитрата као оксидациона фаза, а друга је нафтно уље као горива фаза. Састав емулзионих експлозива је сличан претходно наведеним експлозивима, са разликом што су компоненте за желатинизацију замењене компонентама за емулговање.

Табела 4.15. Састави и карактеристике емулзионих експлозива 1 (Orbović, 2020)

Компоненте	Састав (%)			
	1	2	3	4
Амонијум нитрат	77,00	77,00	76,00	75,30
Натријум нитрат	7,0	7,50	7,80	9,00
Вода	10,0	9,30	10,00	9,00
Емулгатор – Span 80	2,0	2,0	2,00	1,70
Гориво уље	4,0	4,20	4,20	4,50
Карактеристике				
Биланс кисеоника (%)	0,08	-0,38	-0,44	-0,33
Топлота експлозије (kJ/kg)	3187,50	3195,60	3144,20	3161,00
Брзина детонације (m/s)	4720,00	4610,00	4700,00	4680,00

4.7.14. Кубани

Кубан је засићени угљоводоник који се састоји од седам угљеникових атома. Полинитродеривати кубана су врло снажни експлозивни неосетљиви на удар. Најпознатији полинитродеривати кубана су тетранитрокубан (TNK), хептанитрокубан (HrNK), октанитрокубан (ONK) и тетранитротетразакубан (TNTAK). У табели 18 приказане су карактеристике најважнијих полинитрокубана.

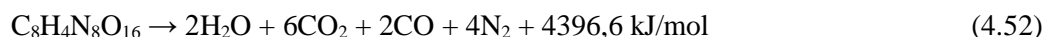
Табела 4.16. Састави и карактеристике емулзионих експлозива 2 (Orbović, 2020)

Карактеристике	ONK	HrNK	TNTAK	HMX
Густина (g/cm ³)	2,09; 2,125 2,21; 1,979	2,028	1,940; 2,19 2,086; 2,05	1,902; 1,905; 1,960
Биланс кисеоника (%)	0	-5,9	0	-21,6
Брзина детонације	9820; 10100	-	9800; 10400	9100
Специфична гасна запремина (dm ³ /g; dm ³ /cm ³)	0,59; 1,23	0,66; 1,32	0,64; 1,32	0,93; 1,75
Притисак (kbar)	467; 500	-	540; 444	393

Хемијска реакција термичког разлагања октанитрокубана, одвија се према следећој једначини:



Октанитродиастеран има карактеристике које су боље у односу на HMX. Термохемијска реакција распадања октанитродиастера одвија се на следећи начин:



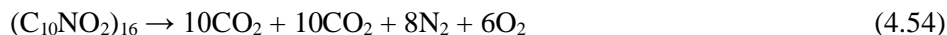
4.7.15. Призмани

Призмани спадају у групу засићених угљоводоника са четворочланим прстеновима тако да скелет има облик цеви са више углова. Најпознатији призмани су: трипризман, тетрапризман, пентапризман и хексапризман. Сагоревање или детонација призмана, одвија се према термохемијској једначини:

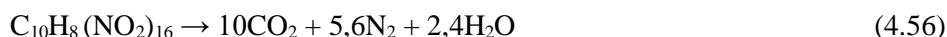


4.7.16. Адаманти

Пропадају групи засићених полицикличних угљоводоника који су састављени од четири циклохексанова прстена. Карактеристични примери су максимално нитровани адамантан хексадеканитроадаманти ($C_{10}NO_2$)₁₆ са позитивним билансом кисеоника и полинитроадаманти са неутралним билансом кисеоника. Хемијским разлагање настаје:



Уколико се адамантан нитрује максимално, добија се адамантил хексадеканитрат $C_{10}(ONO_2)_{16}$, а оптималним нитровањем, добија се октанитрокси-дериват $C_{10}H_8(ONO_2)_8$, који се разлажу на следећи начин:



4.7.17. Норборнани

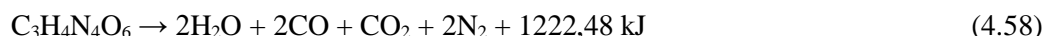
Норборнан је засићени угљоводоник који се састоји од циклохексана који има мост са метиленским групама. Данас су познати и синтетизовани динитро-дериват и тетранитро-дериват норборборнана.

4.7.18. N-нитродеривати

Корак напред у енергетским материјама је направљен увођењем нитро групе и тако су настали нитрамини. Након тога уследило је озбиљно и масовно испитивање физичко-хемијских карактеристика. Нитраминске групе (N-NO₂)у молекулу енергетске материје побољшава карактеристике, нарочито експлозивне у односу на енергетске материје са С-нитро једињењима. Врло су стабилни и неосетљиви експлозиви. Нитраминска група може да буде и примарна и секундарна група, што зависи од намене експлозива. Најпознатији експлозиви који припадају овој групи су метилнитрамин (CH₃NHNO₂) и етилендинитрамин (O₂NNHCH₂CH₂NHNO₂).

4.7.19. Тринитроазетидин (TNAZ)

Експлозив представља симетрично једињење са две gem нитро-групе на С-3 угљениковом атому и са једном нитро-групом на азотовом атому. Изузетно снажан експлозив који се разлаже према следећој реакцији:



У Табели 4.17. приказани су прегледи и трендови старих и нових експлозивних материја.

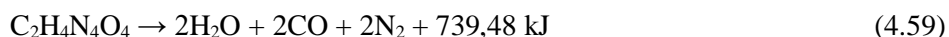
Табела 4.17. Преглед и трендови примене старих и нових експлозивних материја (Orbović,2020)

Експлозив	ΔH_f (kcal/kg)	d (kcal/kg)	V_d (kcal/kg)	P_{cj} (kcal/kg)	ΔE (kcal/kg)	V_{es} (kcal/kg)	Примена
TNT	-75,50	1,654	6881	19,53	-5,53	738	Е
RDX	72,00	1,816	8977	35,17	-8,91	903	Е, РБ, ТБ
HMX	60,50	1,910	9320	39,63	-9,57	886	Е, РБ, ТБ
PETN	-407,40	1,778	8564	31,39	-8,43	825	Е
TATB	-129,38	1,937	8114	31,50	-6,94	737	Е
HNS	41,53	1,745	7241	23,40	-6,30	709	Е
TNAZ	45,29	1,840	9006	36,37	-9,39	877	Е, РБ, ТБ
CL-20	220,00	2,040	10065	48,23	-11,22	827	Е, РБ, ТБ
FOX-7	-85,77	1,885	9044	36,05	-8,60	873	Е, РБ, ТБ
AND	-288,50	1,812	8074	23,72	-4,91	987	Е, РБ, ТБ
LX-14 и LX-19							
95%CL-20/5% естан	161,60	1,972	9453	42,46	-10,07	827	Е
95%HMX/5% естан	10,07	1,853	8838	35,11	-8,67	880	Е
Композиција Б							
60%RDX/40% TNT	9,55	1,728	7936	27,07	-7,23	840	Е
60%RDX/40% TNAZ	55,40	1,801	8827	34,16	-8,81	894	Е
Октол							
75%HMX/25% TNT	27,76	1,839	8604	33,54	-8,41	850	Е
75%HMX/25% TNAZ	56,37	1,892	9237	38,69	-9,52	883	Е

Напомена: $V_{d(cal)}$ – израчуната брзина детонације, ΔE – енергија „Gurney” у функцији експанзије V/V_0 – 6,5, Е – експлозивни, РБ – ракетни барути, ТБ – топовски барути.

4.7.20. FOX-7

Експлозив новије генерације изузетно велике бризантности и јако слабе осетљивости. По карактеристикама може се поредити са RDX – ом. Слабо се раствара у води, али се добро раствара у диполарним ароматичним растварачима. Разлаже се према следећој термохемијској једначини:



4.8. Барути

Барути су врста хемијских енергетских материја чија енергија ослобођена у току разлагања може да се користи за користан рад преко експанзије гасовитих производа сагоревања. Процес хемијског разлагања је се одвија по површини барута и шири се по дубини масе провођењем топлоте и топлотним зрачењем. Реакција је спора и зависи од састава барута, површине барута и притиска сагоревања. Барути се лабораторију у чауру метка и ракетним моторима производе се у две основне групе. Подела се врши у две основне групе:

- *хомогени барути*, бездимни, колоидни од желатинизираних нитроцелулозе органским растварачима и хетерогени барути и
- *хетерогени барути*, механичке смеше једињења богатих кисеоником и горива најчешће органског порекла.

4.8.1. Хомогени барути

Хомогени барути у свом саставу имају пластифицирану нитроцелулозу. Након проналаска нових барута након црног барута који су сагоревали без дима, названи су бездимни барута. Бездимни барути се деле у три основне подгрупе: једнобазни барути, двобазни барути и тробазни барути.

Користе се за пушке, пиштоље, бацаче, топове и хаубице. Једнобазни барути садрже нитроцелулозу као једини састојак (Kubota, 2007; Federff i Sheffield, 1960; Fordham, 1980; Fickett, 1985). Двобазни барути садрже нитроцелулозу и енергетске компоненте за желатинирање као што је нитроглицерин, нитроглицол и остали. Тробазни барути садрже нитроцелулозу, нитроглицерин и нитрогванидин. За муницију већег калибра, ракетне моторе као и за припале користи се црни барут и пиротехничке смеше у облику праха или пресованих пуњења док се за муницију користе балистички у облику плочица (Teipel, 2005). Важан параметар за карактеристике зрна барута и координација брзине ослобађања гасова са повећањем запремине коморе за сагоревање. Еколошки су прихватљивији двобазни барути у односу на композитне баруте.

4.8.2. Једнобазни барути

Једнобазни барути су желатинизоване смеше два типа нитроцелулозе, са вишим и нижим процентом нитроцелулозе. На ваздуху се лако припаљују и преко критичног пречника могу да детонирају. Једнобазни барути садрже централит, комфор или графит. Користе за лабораторију у следећа убојна средства:

- Муницију 40 mm за противавионске топове,
- Муницију до калибра 57 mm,
- Муницију за бестрајне топове 57 mm и 105 mm,
- Муницију за хаубице до 240 mm и
- Муницију за топове до 280 mm.

Табела 4.18. Састави и карактеристике једнобазних барута (Orbović, 2020)

Компоненте	Тип барута		
	М-1	М-6	М-10
Састав			
NC, 13,15% N (%)	85,00	87,00	98,00
Динитротолуен (%)	10,00	10,00	
Дибутил-фталат (%)	5,00	3,00	
Дифениламин (%)	1,00	1,00	1,00
Калијум-сулфат (%)			1,00
Графит (%)			0,10
Карактеристике			
Растварач (%)	0,75	0,90	1,50
Влага (%)	0,50	0,50	0,50
$T_c (V_{const.}) (K)$	2417	2570	3000
$T_c (P_{const.}) (K)$	1919	2050	2431
$Q_c (kJ/kg)$	2930	3172	3916
$\gamma (c_p/c_v)$	1,2593	1,2543	1,2342
$V_c; (bP^n) (m/s)$	0,002143	0,00298	
Коефицијент n	0,71	0,702	
$d (g/cm^3)$	1,75	1,58	1,67
$d_c (g/cm^3)$	0,10	0,20	

4.8.3. Двобазни барути

Састоје се од експлозивне и активне компоненте, једна компонента је нитроцелулоза, а друга је нитроглицерин, нитрогликол, диетилен-гликол-динитрат итд. Компоненте при сагоревању функционишу као гориво и оксиданс (Sutton i Biblarz, 2001). У састав поред наведених компонената улазе и централит, нитродифениламин, органски фталати, алуминијум, магнезијум, метални салицилати, калијум-перхлорат, хексоген и остали.

Табела 4.19. Састави и карактеристике двобазних барута (Orbović, 2020)

Компоненте	Тип барута и састав (%)						
	САД		Белгија	Русија		Француска	Шведска
	M-8	M-9	BAL	NBL	NBK	BAL	AK10
Нитроцелулоза	52,5	57,0	57,9	45,8	58,5	58,0	61,0
N у NC	13,2	13,2	12,4	12,0	12,7	12,7	13,1
Нитроглицерин	43,0	40,0	39,0	40,7	40,3	41,0	36,0
Централит	1,5	1,5	2,6	1,4	1,2	1,0	1,0
Диетил-фталат	3,0						
Вазелин	0,5	0,5		0,1			0,5
Калијум-нитрат		1,5					
Графит			0,3				
Ацетон			10,0				10,0
Дифениламин							1,0

4.8.4. Екструдирани ракетни барути

Екструдовани барути за ракетне моторе поред нитроцелулозе садрже нитрогликол, нитроглицерин, хемијске стабилизаторе и модификаторе. Примену имају у ракетним моторима као зрна у облику блокова.

Табела 4.20. Састави и карактеристике екструдованих топовских барута (Orbović, 2020)

Компоненте	Тип барута и састав (%)							
	Енглеска		Немачка		САД			
Нитроцелулоза	56,5	(13,2)	65	(13,2)	69,4	(12,3)	62,4 (12,0)	77,4
Нитроглицерин	26,0		29					19,5
Диетилен-гликол-динитрат					25,3		25,7	
Централит	4,0		6,0		5,0		8,0	0,6
Вазелин	3,5						1,8	
Динитротолуен	10,0							
Графит					0,1		0,1	0,3
Магнезијум-оксид					0,15			
Диамил-фталат							0,8	
Баријум-нитрат								1,4
Калијум-нитрат								0,6
Растварач								2,3
Карактеристике								
Q _c (kcal/kg)					825		730	1080
γ (C _p /C _v)	1,25		1,23		1,25		1,28	1,23
V _{es} (dm ³ /kg)	1017		906		1023		1116	936
Коволумен (dm ³ /kg)	0,983		0,938		0,985		1,051	
T _c (V _{const}) (K)	2728		3226		2525		2002	3319

4.8.5. Тробазни барути

Тробазни барути су састављени од желатинизоване смеше од нитроцелулозе, нитроглицерина, нитрогликола и нитрогванидина. У састав тробазних барута се додају и адитиви, централит, фталат и модификатори сагоревања. Користе се најчешће за муницију великог домета, претежно за циљеве у ваздуху. У Табели 4.21 су приказане основне карактеристике тробазних барута.

Табела 4.21. Састави и карактеристике тробазних барута 1 (Akhavn, 2006)

Компоненте	Тип барута и састав (%)					
	Енглеска			САД		Немачка
Нитроцелулоза	19,0	20,8	16,0	23,1	20,0	43,50
Нитроглицерин	18,7	20,6	21,0	21,5	19,0	
Диетилен-гликол-динитрат						18,65
Нитрогванидин	55,0	55,0	55,0	54,7	54,7	30,0
Централит	7,3	3,6	7,5	1,5	6,0	
Калијум-криолит				0,3	0,3	
Карактеристике						
Q _c (kcal/kg)	765	880	755	963	788	750
γ (c _p /c _v)	1,27	1,25	1,27			1,25
Сила барута (dm)	995	1081	995	1108	1013	9770
V _{es} (dm ³ /kg)	1057	1001	1066			1023
Коволумен (dm ³ /kg)	1,004	0,975	1,004			0,985
T _c (V _{const}) (K)	2410	2800	2410	3030	2575	2525
Насипна густина (g/cm ³)	0,99	1,025	0,99			1,015

4.8.6. Сагоревање нитроцелилозе

Нитроцелулоза може да сагорева и без додатних оксиданаса. Енергетски састојци барута као што је нитроглицерин, нитрогликол, RDX, HMX и други такође могу да сагоревају сами. Приликом термичког разлагања нитроцелулозе настају азотови оксиди, NO₂ и N₂O, а остатак представљају смеша алдехида, HCHO, угљен монооксида и угљеника. Термохемијска једначина разлагања је:



Након прве фазе долази до раскидања CO-NO₂ везе. Ако је CO-NO₂ група из које је настала NO₂ група разлагањем нитроцелулозе од угљениковог атома, онда следи да су производи разлагања глиоксал OHC-CHO и NO₂ групе. Група CO-NO₂ која је била везана за угљеников атом, даје производ разлагања формалдехид и NO₂ групу. У другој фази оксидо-редукционереакцији производи разлагања су: CO₂, CO, NO, H₂O, глиоксал, формалдехид и други (Yan et al., 2013; Wingborg, 2004).

4.8.7. Сагоревање нитроглицерина

Детонационим разлагањем нитроглицерина долази до раскидања O-NO₂ везе, при чему настаје NO₂ и остатак молекула CH₂ONO₂-CHONO₂-CH₂O при чему настају: CHO, NO₂, 2CH₂O. Други начин разлагања је елиминација азотасте киселине, HONO при чему настаје CHO-CO-CHO који се разлаже на CH₂O, CO₂ и CO. На основу једначине термичког разлагања и симулације путем програма ReaxFF-log, примарни производи разлагања су: NO₂, NO, HNO, CO₂, N₂ и H₂O, а коначни производи су: CO₂, N₂ и H₂O (Zeng et al., 2019.)

4.8.8. Сагоревање хомогених барута

Хомогени барути су смеше нитроцелулозе желатинизоване са адитивима или нитроглицерином. Производ разлагања зависи од односа NO₂ групе и метанала, односно формалдехида, HCHO. Код двобазних барута где је однос нитроцелулозе и нитроглицерина 50/50% крајњи производи разлагања су: азот, вода, угљен диоксид, угљен монооксид и угљеник у различитим односима. Ендотермно термичко разлагање

пропеланата, NO₂ и HCHO, као и однос NO₂/HCHO, Табела 4.22.

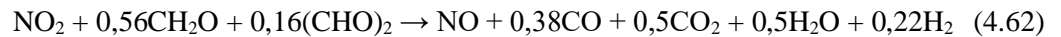
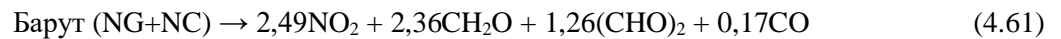
Табела 4.22. Састави и карактеристике тробазних барута 2 (Beckstead et al., 2007)

Монопропелант	Формула	NO ₂	HCHO	NO ₂ /HCHO
NC (12%N)	C ₆ H _{7,74} N _{2,26} O _{9,52}	2,26 NO ₂	3,87 HCHO + 1,13 CO + C	0,58
NC (13%N)	C ₆ H _{7,42} N _{2,58} O _{10,16}	2,58 NO ₂	3,71 HCHO + 1,29 CO + C	0,70
NC (14,14%N)	C ₆ H ₇ N ₃ O ₁₁	3 NO ₂	3,5 HCHO + 1,5 CO + C	0,86
Нитрогликол	C ₂ H ₄ N ₂ O ₆	2 NO ₂	HCHO	1,00
Нитроглицерин	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉	3 NO ₂	2,5 HCHO + 0,5 CO	1,20
Хексоген RDX	C ₆ H ₆ N ₆ O ₆	NO ₂ + N ₂ O	3 HCHO + 1,5 N	0,67
Октоген HMX	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	1,33 NO ₂ + 1,33 N ₂ O	4 HCHO + 2 N	0,67
NC:NG/60:40 ^a		11,25 NO ₂	12,18 HCHO	0,92

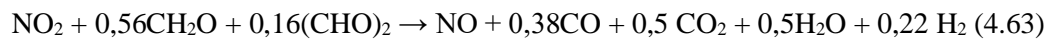
^aNC = 13,00% N₂, бруто формула: C_{17,40}H_{24,36}N_{11,25}O_{38,10}/kg, остали производи 3,42CO и 1,8C.

При процесу сагоревања хомогених, двобазних барута, одигравају се следеће хемијске реакције термичког разлагања:

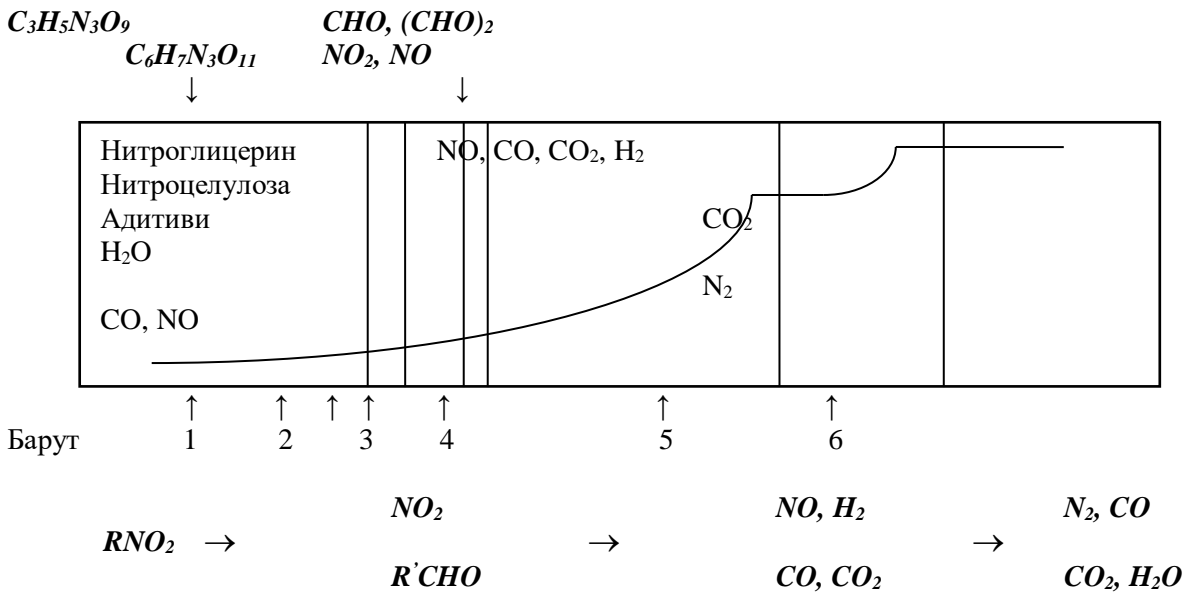
Реакције разлагања у кондезованој фази:



Реакције разлагања у гасној фази:



Структура таласа сагоревања хомогених барута састоји се од пет зона које су представљене на Слици 4.29.



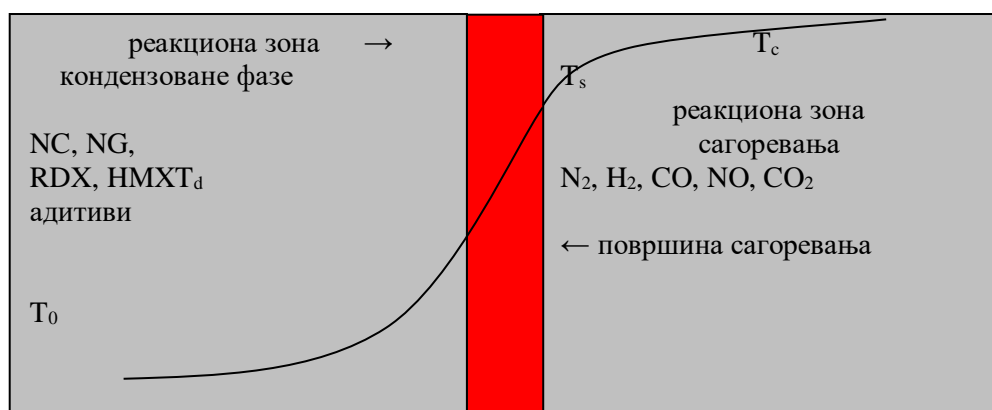
где је:

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1. зона загревања | 4. зона пенушања |
| 2. зона реакције у чврстој фази | 5. тамна зона |
| 3. површина сагоревања | 6. зона пламена |

Слика 4.29. Структура таласа сагоревања 1 (Orbović, 2020)

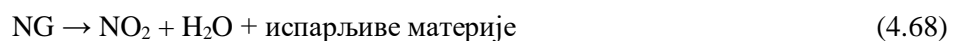
4.8.9. Сагоревање модификованих двобазних барута

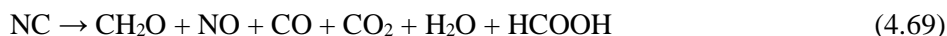
Модификовани барути садрже нитроцелулозу, нитроглицерин, енергетске адитиви или оксиданси RDX, HMX, амонијум-перхлорат. Процес сагоревања двобазних барута са нитраминима се одвијају три фазе. Процес сагоревања је приказан на Слици 4.30.



Слика 4.30. Структура таласа сагоревања 2 (Orbović, 2020)

При процесу сагоревања хомогених, двобазних барута модификованих нитраминима, одигравају се следеће хемијске реакције термичког разлагања:

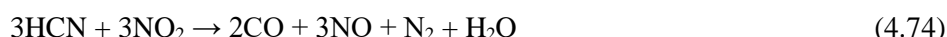
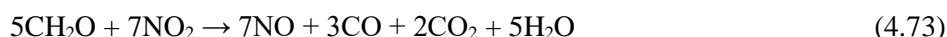




Према претпоставкама истраживача тврдња је да се после реакције термичког разлагања настаје гасна фаза:

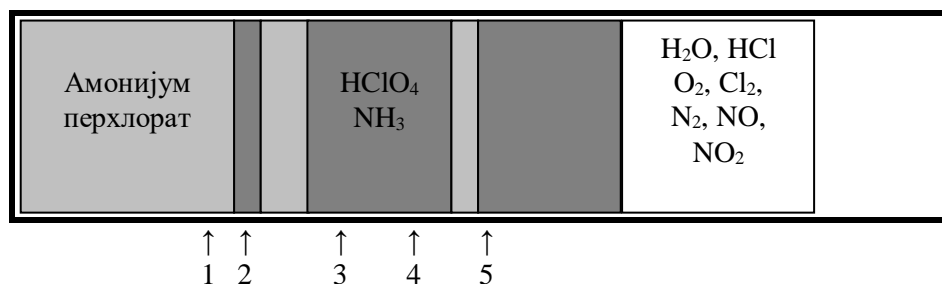


У гасно-фазној реакционој зони одвијају се следеће реакције:



4.8.10. Сагоревање амонијум-перхлората

Сагоревање монопропеланта одвија се преласком орторомбичне у кубну кристалну структуру. У процесу као производи разлагања настају гасовити производи који су богати кисеоником. Процентуално 30% кристала подлежу ендотермној реакцији која обухвата трансфер протона унутар самог молекула амонијум-перхлората, при чему настаје амонијак и перхлорна киселина. Оба процеса подлежу ланчаним реакцијама где се мешају и као крајњу производ настају O_2 , NO и N_2O који су оксиданси у гаснофазној реакцији. На Слици 4.31. приказана је структура таласа сагоревања.

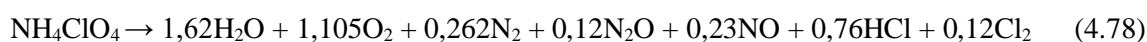


где је:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1. дисоцијална сублимација (30%) | 4. кинетички пламен |
| 2. течни слој амонијум перхлората | 5. крајњи производи |
| 3. дисоцијално разлагање (70%) | |

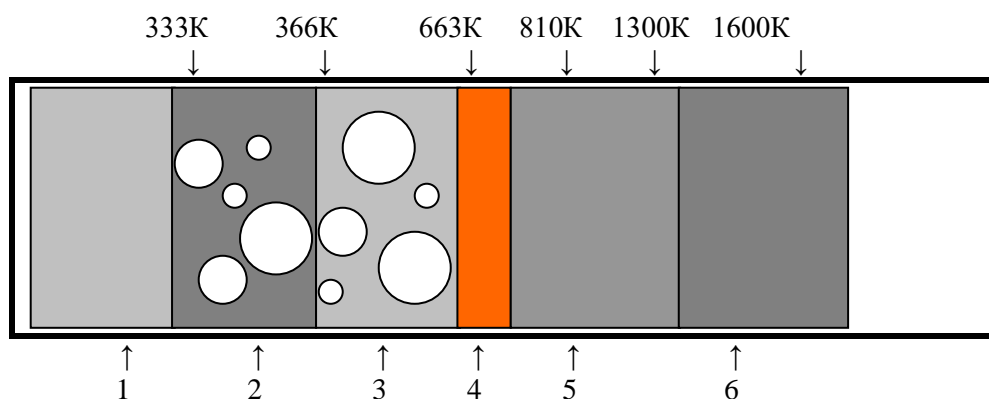
Слика 4.31. Структура таласа сагоревања 3 (Orbović, 2020)

Хемијска термичка реакција разлагања амонијум-перхлората је:



4.8.11. Сагоревање амонијум-динитрамида

Сагоревање амонијум-динитрамида, ADN, $\text{NH}_4\text{N}(\text{NO}_2)_2$, у функцији монопропеланта. На Слици 4.32. приказана је структура таласа сагоревања.



где је:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. чврста зона | 4. површина гас/течност |
| 2. чврста пенушава зона | 5. аеросол |
| 3. течна пенушава зона | 6. пламена зона |

Слика 4.32. Структура таласа сагоревања 4 (Orbović, 2020)

Талас сагоревања се одвија у три зоне. На температурама које су ниже, при малој брзини разлагања, одвија се следећа ендотермна реакција:



За разлику од реакције при великој брзини термичког разлагања која се одвија:



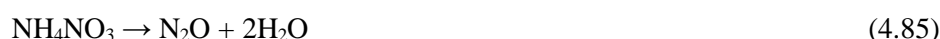
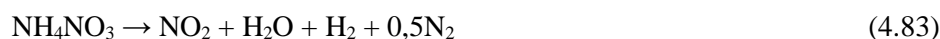
Може се закључити да главни производи у течной пенушавој зони су: NH_3 , N_2O , HDN и ADN у гасовитом стању. Разлагање AND даље у кондензованог фази се одвија према следећој реакцији:



На основу једначине можемо утврдити да су крајњи производи сагоревања: N_2 , NO, H_2O , NH_4NO_3 и N_2O .

4.8.12. Сагоревање амонијум-нитрата

Амонијум нитрат је молекул који се састоји од три атома: N, O и H. Термичким разлагањем долази до редукције азотовог атома у нитратној групи преко нижих азотових оксида до молекулског азота. Начин разлагања приказан је реакцијама термичког разлагања:



4.8.13. Сагоревање хексогена, RDX и октогена HMX

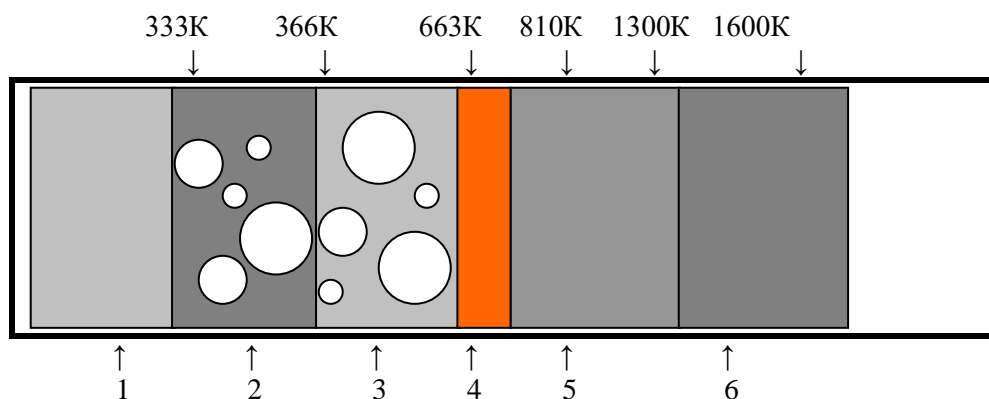
Хексоген као монопропелант након сагоревања чврсте фазе и преласком у течну фазу настају N_2 , HCHO, NO_2 и N_2O . Приликом достизања равнотеже течност-гас, у гасној фази одвија се следећа реакција:



У току гасне фазе одвија се следећа хемијска реакција:



Структура таласа сагоревања приказана је на Слици 4.33.



где је:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1. <i>чврста зона</i> | 3. <i>површина гас/течност</i> |
| 2. <i>течна зона/зона пенушања</i> | 4. <i>гасна зона</i> |

Слика 4.33. Структура таласа сагоревања 5 (Orbović, 2020)

Сагоревање октогена се одвија на сличан начин, што се може утврдити путем једначина реакције разлагања:

– У кондензованој фази:



– У гасној фази:

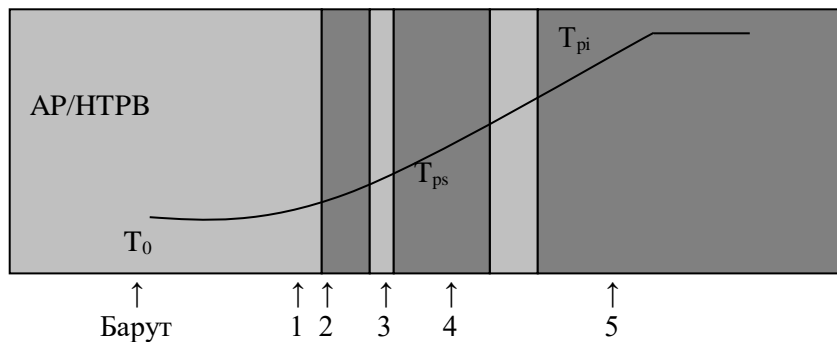


4.8.14. Сагоревање композитних барута

Постоје различите комбинације оксиданаса и везива, али најзаступљенија комбинација је амонијум-перхлорат и хидрокси-терминални полибутадиеен, НТРВ, које се користи као погонско гориво за ракетне моторе. Приликом комплетне деградације амонијум-перхлората настају крајњи производи сагоревања са следећим саставом (Cai et al., 2008):

2,46CO; 3,03CO₂; 0,49Cl; 0,20H; 4,58HCl; 1,23H₂; 11,93H₂O; 2,51N₂; 0,15NO; 0,07O; 0,73OH; 0,26O₂.

Структура таласа сагоревања је приказана на Слици 4.34.



где је:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. зона загревања | 4. реакциона зона |
| 2. површина сагоревања | 5. пламена зона |
| 3. дифузиона зона | |

Слика 4.34. Структура таласа сагоревања б (Orbović, 2020)

4.9. Пиротехника

Пиротехника потиче од грчке речи ругос (ватра, топлота) (Ineichen i Berger, 2004), дефинише се као вештина прављења и коришћења ватре. Састав пиротехничких смеша су мешавине две или више компонената, као на пример: оксиданси, горива, адитиви за гранулацију или везива, модификатори, стабилизатори, појачивачи боје пламена и генератори обојених димова. Код класичних пиротехничких смеша гасовити продукти су вода, угљен-диоксид, угљен моноксид и азот.

Најчешће коришћени оксиданси су: нитрати (NO_3^-), хлорати (ClO_3^-), перхлорати (ClO_4^-), хромати (CrO_4^-), дихромати ($Cr_2O_7^{2-}$) и оксиди (O^{2-}). Сагоревањем димне HC смеше од хексахлор етана (C_2Cl_6) и цинка у праху. Током сагоревања одвија се следећа редокс реакција:



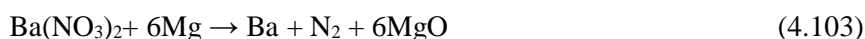
При редикс реакцији смеше тефлона $(C_2F_2)_n$ магнезијума у праху која се користи за осветљавајуће смеше. Флуор активни оксиданс везан за угљеник, подлеже следећој редокс реакцији:



Баријум-нитрат [$Ba(NO_3)_2$] је хемијско једињење соли. На високим температурама, баријум-нитрат се разлаже према следећој термохемијској реакцији:



Реакција баријум-нитрата у пламеним смешама са баријум-хлоратом и баријум перхлоратом се одвија према следећој термохемијској реакцији разлагања:



Стронцијум-нитрат [$Sr(NO_3)_2$] је кристално једињење беле боје. На повишеним температурама, стронцијум-нитрат се разлаже према следећој једначини:



Натријум-нитрат или шалитра (NaNO_3) је неорганска со без боје. Процес разлагања натријум-нитрата се одвија према следећој хемијској једначини:



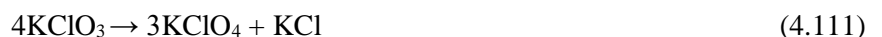
Калијум-нитрат или чилска шалитра (KNO_3) је чврсти оксиданс који се користи у црним барутима и пиротехничким смешама. Хемијска једначина разлагања калијум-нитрата је:



Калијум-хлорат (KClO_3) је со која се користи као оксиданс у смешама обојених пламенова и димова, за каписле и производњу шибица. Након загревања и топљења разлаже се према следећој термохемијској једначини:



Разлагање на температурама изнад 500 °C се разлаже према следећој термичкој једначини:



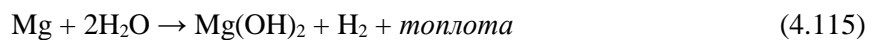
Баријум-перхлорат (BaO_2) је оксиданс за припремање иницијалних смеша за већину пиротехничких смеша. На температурама изнад 600 °C разлаже се према следећој термохемијској једначини:



4.9.1. Неорганска горива

У групу неорганских горива спадају метали, металоиди, неметални елементи и неорганске соли.

Магнезијум (Mg) је обојени метал, сребрнасте боје обично се користи у праху. У контакту са влажним ваздухом реагује према следећој хемијској реакцији:



Поред чистог магнезијума у пиротехничким смешама се често користи и легура магнезијума и алуминијума под називом мангалијум.

Алуминијум (Al) је хемијски елемент из групе обојених метала и врло често се примењује у пиротехничким смешама. У смешама се користи алуминијум прашкасти тамносиве боје. У додиру са влагом одвија се следећа хемијска реакција разлагања:



4.9.2. Органска горива

Органска горива имају бруто хемијску формулу $C_xH_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$, где након процеса сагоревања настаје x молова CO_2 и $y/2$ молова воде, при чему се троши $2x + y/2$ атома кисеоника. Количина кисеоника коју треба да има оксиданс умањена је за количину кисеоника присутних у гориву и износи $2x - y/2 - z$.

Сагоревање горива са кисеоником, на пример глукозе се одвија према следећој оксидо-редукционој једначини (Conkling i Mocella, 2010):



4.9.3. Сагоревање пиротехничких смеша

Пиротехничке смеше представљају смеше чврстих састојака који реагују међу собом у чврстом или чврсто-течном стању. Карактеристичан пример сагоревања магнезијума са оксидансом. Магнезијум при сагоревању на ваздуху, оксиданс је кисеоник из атмосфере и хемијска реакција се одвија према следећој једначини:



У случају када оксиданс није кисеоник из атмосфере, већ неке друге компоненте као што је хлор, хемијска реакција се одвија према једначини:



У оба наведена случаја магнезијум губи по два електрона из задњег валенционог слоја и прелази у катјон (Mg^{2+}) и може се приказати:



У другом случају кисеоник и хлор примају електроне које је отпустио магнезијум и прелази у анјоне (кисеоник у O^{2-} или хлор у Cl^-), што се може приказати реакцијом:



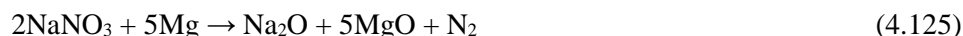
У редокс реакцијама могу да добију и ковалентна једињења, на примеру водоника и хлора или натријума и воде. Хемијске реакције се одвијају на следећи начин:



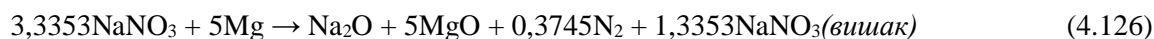
Може се закључити да је у првој реакцији водоник отпустио електрон и оксидовао, а у другој је хлор примио електро и редуковао се.

4.9.4. Састав осветљавајућих смеша

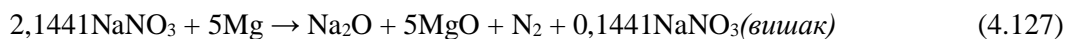
Осветљавајуће смеше као и остале пиротехничке смеше садрже оксиданс, гориво и адитиве који служе као везиво за побољшање карактеристика горења, сагоревања и стабилности смеше. У осветљавајућим смешама као гориво се користи угљеник, фосфор, литијум, берилијум, ванадијум, цирконијум, алуминујум, магнезијум, калцијум, силицијум и титан. Хемијско сагоревање смеше магнезијума и натријум нитрата, при стехиометријским односом (41,68/58,32) се може приказати следећом хемијском једначином:



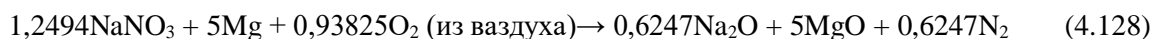
Реакција са 30% магнезијума:



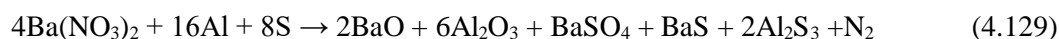
Реакција са 40% магнезијума:



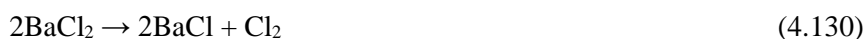
Реакција са 50% магнезијума:



Осветљавајуће смеше са осветљавајућим саставом сумпора садржи баријум-нитрат (60%), алуминијум у праху (25%) и сумпор (15%), сагорева према следећој хемијској реакцији:



Баријум-хлорид (BaCl_2) је једињење које даје зелену боју пиротехничким смешама и подлеже разлагању на баријум-хлорид и хлор, према хемијској једначини:



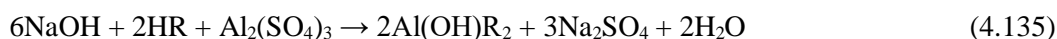
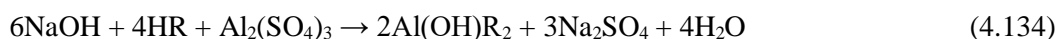
4.9.5. Запаљиве смеше са оксидансом

Запаљиве смеше су пиротехничке смеше које у свом саставу имају оксиданс, гориво и адитиве. Овој групи припадају термити, смеше металних горива (метали у праху Al, Mg, Ca, Si, Ti) (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Cr_2O_3 , MnO_2 , CuO , итд.). Алуминијума и гвожђа реагују према следећим хемијским реакцијама:



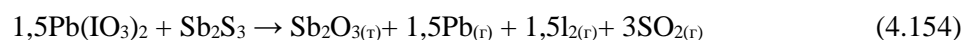
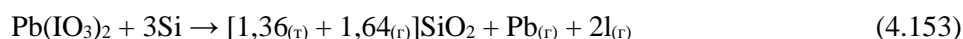
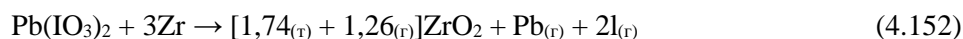
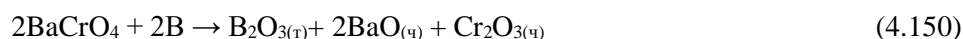
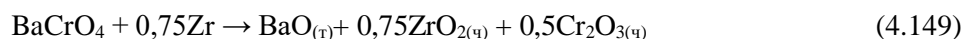
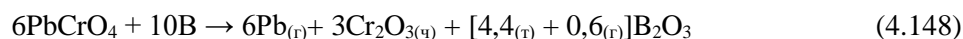
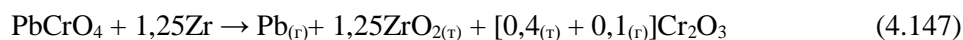
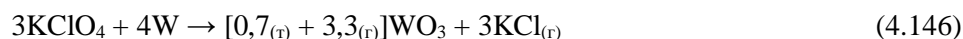
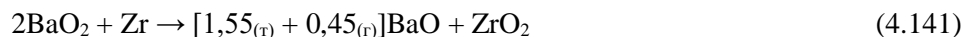
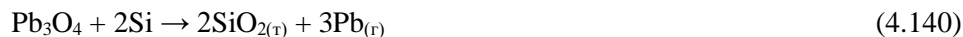
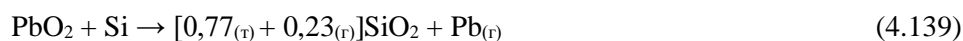
4.9.6. Напалм меша

Напалм меша је средство за желирање угљоводоничних горива и представља гранулисана алуминијумове сапуне нафтенске, палмитинске киселине, масних киселина из кокосовог уља. Суштински напалм је алуминијумов монохидроксилни дисапун формуле $\text{Al}(\text{OH})\text{R}_2$, где R представа киселински остатак, од олеинске и нафтенске киселине. Формирање „Напалм” средства за желирање може се представити следећим хемијским једначинама:



4.9.7. Успорачке смеше

Успорачке смеше представљају пиротехничке смеше које се користе за одлагање дејства импулса сагоревања или детонације на контролисан начин. Постоје успорачке смеше без гасова које се производе комбинацијом металних оксида или хромата као оксиданаса са елементарним горивима. Ефекат дужег времена горења или мале брзине сагоревања се постиже са нискоенергетским металним горивима и оксидансима са високом температуром и ендотермном топлотом разлагања. У следећим хемијским једначинама приказане су једначине хемијског разлагања меша које не производе гасове:



Напомена: ч – чврсто, т – течно и г – гасовито агрегатно стање.

4.9.8. Димови

Димови који се формирају могу да се карактеришу као колоидне суспензије у ваздуху као диспергованој средини. Колоидне честице су честице величине мање од 1×10^{-5} cm. Колоидне честице у чврстом или течном стању које су дисперговане у гасовима, најчешће у ваздуху који нас окружује називају се димови или магле, а док су дисперговане у течној средини називају се суспензије. Када су дисперговане чврсте течности колоидни систем се назива аеросол. Честице се таложу веома споро у диспергованој средини и при томе могу да се наелектришу електричним набојем када се крећу кроз ваздух и подлежу законима ваздушних струјања. Облаци колоидних честица имају привремено постојање и лебде изнад површине где се формирао, али под утицајем руже ветрова или струја може да се креће или разређује, пре него што се честице исталожу или споје у веће агломерације. Квалитет насталог дима свакако зависи од концентрације и карактеристика колоидних честица, њиховог облика и величине. Концентрација дима је садржај колоидних честица у односу на јединицу запремине димног облака и изражава се као маса честица (g) у метру кубном запремине (m^3). Ако знамо концентрацију дима, можемо да израчунамо средњи пречник диспергованих честица. У Табели 4.23. приказане су концентрације и посечни пречници диспергованих честица.

Табела 4.23. Концентрације и просечни пречници диспергованих честица (Orbović, 2020)

Диспергована фаза	Концентрација (g/cm ³)	Средњи пречник честица (cm)
Цинк оксид (ZnO)	0,2 – 0,70	2,4x10 ⁻⁶
Сумпорна киселина (H ₂ SO ₄)	0,1 – 0,15	1,5x10 ⁻⁶
Фосфорна киселина	0,2 – 0,70	4,7x10 ⁻⁵ – 1,2 x10 ⁻⁴
Вода – магла	1,20	2,5x10 ⁻⁵
Вода – облак	1,20	5,0x10 ⁻⁵ – 3,5 x10 ⁻³
Амонијум-хлорид	<2,00	5,0x10 ⁻⁴ – 3,5 x10 ⁻⁴

У 1 cm³ дима постоји неколико милиона честица које су у хаотичном и сталном покрету. На честице дима делује и гравитационо убрзање која може да покрене и убрза седиментацију. Честице диме под дејством силе гравитације убрзавају и достижу своју максималну брзину каде се изједначи њихова маса са отпором ваздуха. Уколико знамо у обзир да су честице чврсте лопте које су веће од просечне путање гаса. Максимална брзина седиментације је пропорционална квадрату средњег пречника честица и може да се изрази Stokes-овим законом (Djurica, 1983):

$$V_s = \frac{2 \cdot g}{9 \cdot \eta} \cdot r^2 \cdot (d - d_{ds}) \quad (4.155)$$

где је:

- V_s – брзина седиментације (m/s),
- r – средњи пречник честица (m),
- g – гравитационо убрзање (9,81 m/s²),
- η – вискозитет дисперговане честице (ваздух 1,8x10⁻⁵ kg/ms),
- d – густина честица (kg/m³),
- d_{ds} – густина дисперговане средине (kg/m³).

Брзина таложења аеросола се израчунава на следећи начин:

$$V_s = r^2 \cdot k \cdot d \quad (4.156)$$

где је:

- V_s – брзина седиментације (m/s),
- r – средњи пречник честица (m),
- d – густина честица (kg/m³),
- k – константа ($2g/9\eta = 1,2x10^6$ cm²/gs).

4.9.9. Стварање димова

Хемијско разлагање експлозивних материја и пиротехничких смеша прати појава дима. Димови настају на основу хемијског састава материје од које потичу (оксиди соли, метали у праху, вода и разна уља. Дисперзијом лако испарљивих течности у ваздуху оне реагују са влагом дајући ефекат дима:



Након сагоревања појединих материја као ефекат јављају се производи сагоревања који су приказани у Табели 4.24.

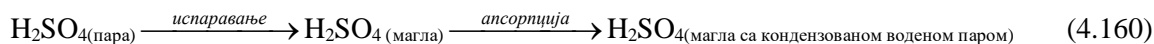
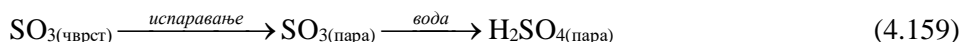
Табела 4.24. Карактеристике и производи сагоревања појединих материја (Djurica, 1983)

Материја	D (g/cm ³)	T _k (°C)	Производи реакције
Калај-тетрахлорид (SnCl ₄)	2,2	114	Sn(OH) ₄ xHCl
Титан-тетрахлорид (TiCl ₄)	1,8	136	Ti(OH) ₄ xHCl
Силицијум-тетрахлорид (SiCl ₄)	1,5	59	Si(OH) ₄ xHCl
Хлорсулфонска киселина (SO ₂ OHCl)	1,8	158	H ₂ SO ₄ xHCl
Сумпор-триоксид (SO ₃)	1,9	45	H ₂ SO ₄
Фосфор-пентоксид (P ₂ O ₅)	2,4	360	H ₃ PO ₄

Сумпор-триоксид (SO₃) је анхидрид сумпорне киселине, безбојна течност, а може бити и у чврстом и гасовитом агрегатном стању. У додиру са воденом паром у диспергованом стању реагује према хемијској једначини:

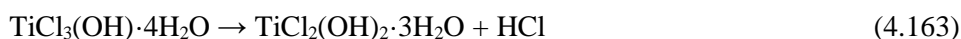


Уколико дође до апсорбције веће количине воде, процес формирања димног облака се одвија према следећој једначини:



Шема 1 – Формирање димног облака SO₃

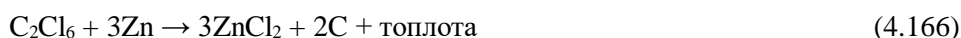
Титан-тетрахлорид (TiCl₄) је течност светложуте боје и користи се као средство за стварање ефекта за камуфлажу. Реагује са водом, према следећој хемијској реакцији:



Силицијум-тетрахлорид (SiCl₄) је средство без боје и користи се као димно средство и са влагом реагује према следећој једначини:



Хексахлоретаном (C₂Cl₆) реагује са цинком у праху, према следећој хемијској реакцији:



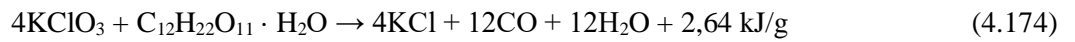
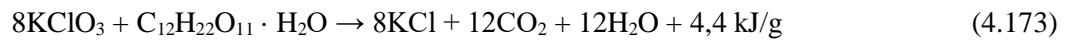
Фосфор (P) је неметал из групе азота и постоји у белој, жутој, црвеној и црној боји. Употребом белог фосфора у реакцији са кисеоником одвија се следећа хемијска реакција:



У следећим хемијским реакцијама приказан је утицај количине кисеоника који реагује са фосфором:



Поред наведених горива користе се и горива богата кисеоником. Карактеристични примери су реакције лактозе и калијум хлората:

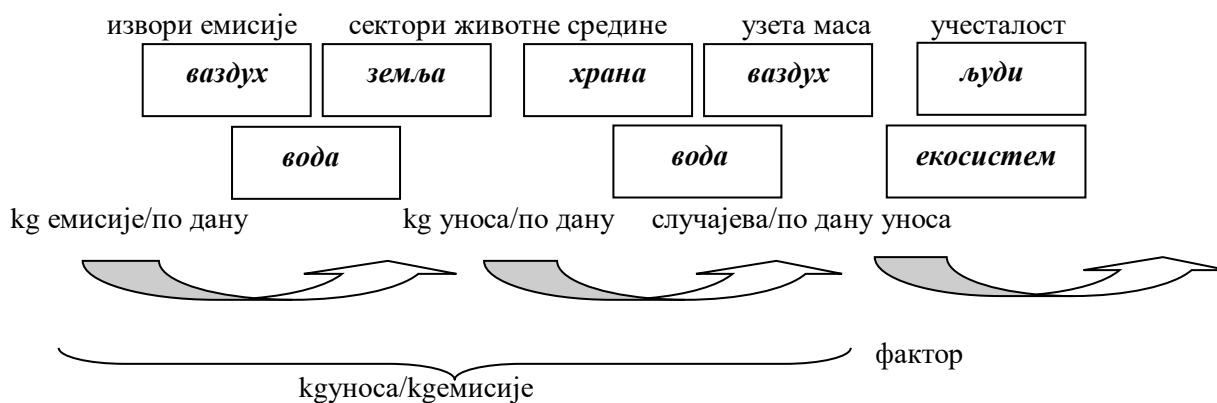


На основу реакција може се закључити да се променом односа оксиданса и горива може довести до оксидације органске боје.

5. ЕКСПЛОЗИВНЕ МАТЕРИЈЕ КАО ЗАГАЂИВАЧИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Ефекти војних активности се могу оправдати због циља ради сачувања интегритета и суверинитета једне државе и приликом ратних разарања заштита животне средине није приоритет. Утицај активности војске приликом обуке морају бити предузете мере на смањењу емисије и заштити животне средине. Негативни утицаји се налазе на бојиштима, базама и свим осталим локацијама где дође до употребе убојних средстава, укључујући и постројења фабрика наменске индустрије за производњу убојних средстава (Via i Zinnert, 2016). На полигонима за обуку су пронађени велики број тешких метала и нус производа експлозива, на основу чега је затворен војни полигон у САД, због загађења површинских и подземних вода. Пронађени остаци проузроковани употребом убојних средстава су остаци енергетских и тешких метала (Tsuji et al., 2008).

USEtox методом израчунавају се фактори карактеризације CF на токсичност за људе и токсичност екологије. Токсичност се прорачунава на употребе убојних средстава где се као резултатат добијају подаци о исходима, факторима изложености и постефеката. Методологија прорачуна негативног утицаја на екологију и здравље људи, приказана је на Слици 5.1.



Слика 5.1. Метода за израчунавање токсичности на здравље људи и токсичност екологије (Rosenbaum et al. 2008)

Програм даје могућност одабира локације настанка емисије. Моделом се може симулирати шест различитих еколошких система:

- урбани ваздух (градски ваздух),
- континентални ваздух,
- слатка вода,
- слана вода,
- грађевинско земљиште и
- пољопривредно земљиште.

Одабиром система може се одабрати и понашање неке од супстанци и њихова дисперзија. Факторима карактеризације може се тренутно одредити токсичност на људе и екосистем и удео чврстих честица по јединици масе. Ова метода се може користити у ограниченим случајевима због недостатака у моделу у вези сложеног понашања супстанци или услед недостатака података.

5.1. Процена животног циклуса производње и употребе убојних средстава

Модел пружа могућност процене животног циклуса енергетских материјала током производње. Израчунати су следећи утицаји следећих експлозива на животну средину:

- TNT (тринитротолуен),
- RDX (хексоген),

- HMX (октоген),
- PETN (пентрит),
- NGL (нитроглицерин) и
- NGV (нитрогванидин).

У Табели 5.1. су приказани резултати прорачуна за наведене експлозиве.

Табела 5.1. Утицај на животну средину по kg енергетског материјала (Rosenbaum et al. 2008)

Категорија утицаја	Црни барут (II)*	HMX (II)#	NC (I)*	NGL (II)*	NGV (II)*	PETN (II)*	RDX (II)*	TNT (I)*
Абиотско исцрпљивање	3.53E-02	3.45E-01	1.97E-02	2.75E-02	1.48E-01	7.07E-02	4.72E-02	2.71E-02
Закишељавање	3.45E-02	1.35E-01	9.03E-02	3.44E-02	1.49E-01	2.39E-02	2.45E-02	6.19E-02
Еутрофикација	9.06E-03	5.38E-02	2.00E-02	8.92E-03	3.84E-02	3.41E-03	1.03E-02	5.46E-03
Глобално загревање	1.29E+01	4.24E+01	6.53E+00	5.85E+00	3.21E+01	5.37E+00	8.59E+00	5.06E+00
Оштећење озонског омотача	5.15E-07	3.92E-06	3.74E-07	1.96E-06	1.62E-06	1.34E-07	5.34E-07	1.88E-07
Фотохемијска оксидација	2.29E-03	2.58E-02	2.72E-03	1.22E-03	2.53E-02	1.04E-02	7.73E-04	2.09E-03
Примарна енергија	8.95E+01	7.82E-02	5.72E+01	6.56E+01	3.23E+02	1.54E+02	1.02E+02	6.10E+01
Канцерогена токсичност за људе	3.13E-10	2.17E-09	3.20E-10	2.58E-10	1.00E-09	1.12E-08	9.37E-10	1.24E-10
Не канцерогена токсичност за људе	1.31E-09	6.41E-09	5.07E-08	9.20E-10	3.67E-09	8.47E-10	8.25E-10	5.90E-10
Токсичност екосистема	3.22E-03	6.62E-01	1.34E+01	2.47E-03	1.11E-02	2.26E-01	5.06E-02	1.78E-03

Напомена: I – уобичајени енергетски материјали,

II – енергетски материјали из литературе (Hisher et al., 2005.),

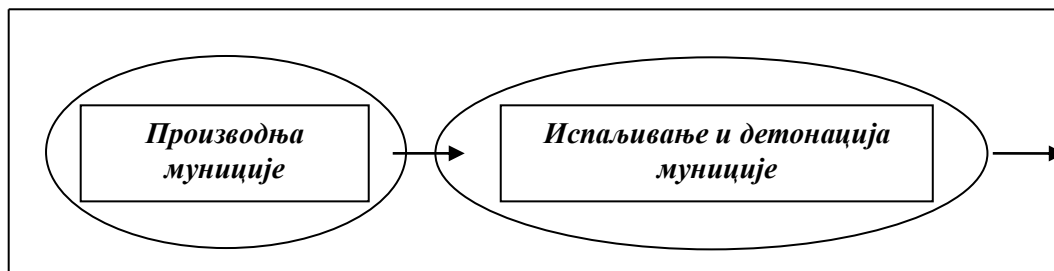
– стехиометријски прорачуни и смеше израчунате на основу литературе (Hisher et al., 2005.),

* – извор информација заснован на (Urbanski, 1968, страна 1-4) и

– извор информација заснован на (Federoff et al., 1960).

5.2. Животни циклус муниције 155 mm

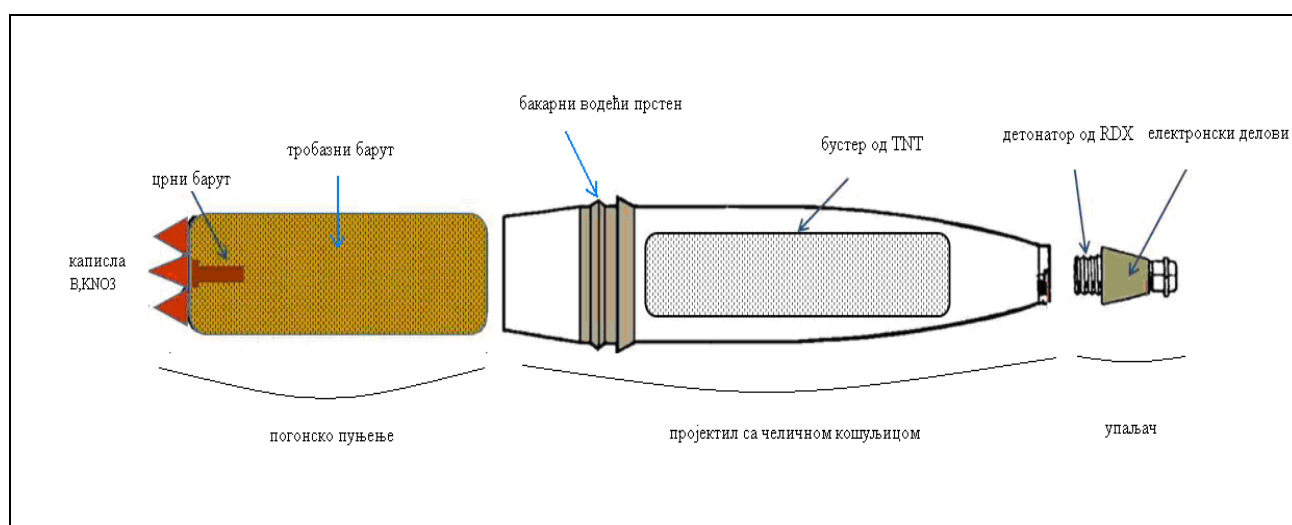
Кроз животни циклус муниције разматране су све активности и операције почев од разградње погонског пуњења и детонације бојеве главе, изузимајући процес производње због заштите интелектуалне својине технолошког процеса. На Слици 5.2. је приказан модел животног циклуса муниције, у Табели 5.2. су приказани основни подаци о муницији 155 mm, а на Слици 5.3. су приказане основне компоненте муниције 155 mm.



Слика 5.2. Модел животног циклуса муниције (Rosenbaum et al., 2008)

Табела 5.2. Основни подаци о муницији 155 mm (Rosenbaum et al., 2008)

Делови муниције	Компоненте муниције	Количине (kg)
Бојева глава	Кућиште од челика	35,5
	Траке за погон од бакра	0,5
	Композиција Б	8,5
	Бустер од PETN	0,02
Погонско пуњење	Тробазни барут	9,5
	Црни барут	0,005
	Бор-калијум-нитрат	0,03
	Олово	0,085
Упаљач	Кућиште од алуминијума	0,45
	Кућиште од месинга	0,45
	Електронски делови	0,1
	Детонатор од RDX	0,002
Контејнер	Челик	22,0



Слика 5.3. Главне компоненте и подсклопови метка 155 mm (Rosenbaum et al., 2008)

Тест са испаљивањем и детонацијом овог калибра и ове врсте муниције извршен је у Abedeen Test Center

(АТС), а резултати су приказани и описани у литератури (Onasch et al., 2008). Гасовити продукти и честице прашине су генерисане путем сонде која је била постављена непосредно поред оруђа на стативу. Лабораторијска станица за праћење параметара је постављена на 30 m удаљености од оруђа. Испитивањем је обухваћен узорак од 20 хитаца са различитим типовима муниције 155 mm, а резултати емисије су приказани у грамима по граму погонског горива. У табелама 5.3. и 5.4. су приказани резултати испитивања гађањем са муницијом калибра 155 mm, изузимајући продукте непотпуног сагоревања.

Табела 5.3. Емисија са места испаливања муниције 155 mm (Rosenbaum et al., 2008)

Емисије (kg/метак 155mm)			
Угљен диоксид	2,74E+00	Водоник цијанид	3.78E-02
Угљен моноксид	4,64E+00	Акрилонитрил	2.29E-05
Азот оксид	3,90E-04	Сирћетна киселина	1.44E-04
Азот диоксид	3,14E-04	Етил ацетат	8.98E-05
Формалдехид	8,63E-05	Фуран	8.98E-05
Ацетонитрил	2,80E-04	Угљеник	1,55E-03
Ацеталдехид	3,20E-05	Сулфат	3,04E-04
Бензен	9,03E-04	Нитрат	1,22E-04
Етилбензен	2,19E-04	Амонијум	9,69E-05
Толуен	2,79E-04	РАН	2,85E-06
Стирен	4,87E-05	Олово честице	4,30E-07

Табела 5.4. Емисија са места детонације муниције 155 mm (Rosenbaum et al., 2008)

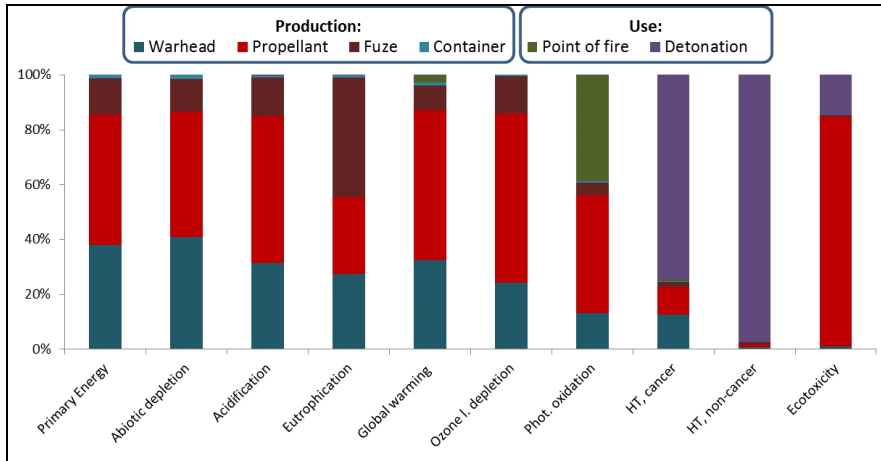
Емисије (kg/метак 155 mm)					
Угљен диоксид	1,91E-01	Фенол	4,09E-07	Антимон	1,50E-05
Угљен моноксид	4,54E-03	Фосфор	3,86E-05	Арсен	3,45E-07
Азотни оксиди	1,32E-02	Пропиналдехид	1,50E-05	Баријум	1,32E-05
Сумпор диоксид	3,54E-04	Пропилен	1,95E-05	Кадмијум	2,32E-04
Ацеталдехид	3,04E-05	Толуен	1,04E-05	Магнезијум	1,14E-01
Ацетонитрил	2,68E-06	Ксилен	9,08E-07	Манган	6,36E-05
Ацетофенон	1,09E-06	Ацетилен	2,95E-03	Олово	3,31E-06
Амонијак	1,50E-05	Бензалдехид	8,17E-06	Хром	7,72E-06
Бензен	3,54E-05	2-бетенал	2,41E-06	Кобалт	2,86E-06
Берилијум	9,53E-08	1-бутен	3,81E-06	Бакар	6,36E-06
Угљен-дисулфид	3,68E-06	Цис-2-бутен	1,09E-06	Цинк	1,18E-04
Хлорометан	2,18E-06	Транс-2-бутен	1,23E-06	Диоксин	6,81E-12
Етилбензен	2,45E-06	Диетилфталат	9,53E-07	Фуран	7,26E-06
Етен	9,99E-05	Додекан	1,95E-06	ПМ2,5	7,26E-02
Формалдехид	1,45E-05	Етан	3,18E-05	ПМ10	1,63E-01
Метилен хлорид	1,68E-05	Хексалдехид	5,90E-06		
2-метилнафтален	3,09E-07	Метил етил кетон	4,99E-06		
Нафтален	2,72E-06	1-пропин	1,54E-06		
Нитроглицерин	5,45E-06	Валералдехид	8,17E-06		

Испитивањем емисије калибра 120 mm, утврђено је да постоји корелација са резултатима детонације муниције калибра 155 mm. У Табели 5.4. приказани су резултати у којима је откривен нитроглицерин, а остали енергетски материјали су били испод концентрације ограничења. Производња убојних средстава је узрочно последична веза са животном средином и токсичности екологије. Преко 80% представљају компоненте које су у директној спреси са производњом и употребом, односно утицајем на животни

циклас. Највећи негативан допринос у томе даје погонско пуњење и бојева глава пројектила.

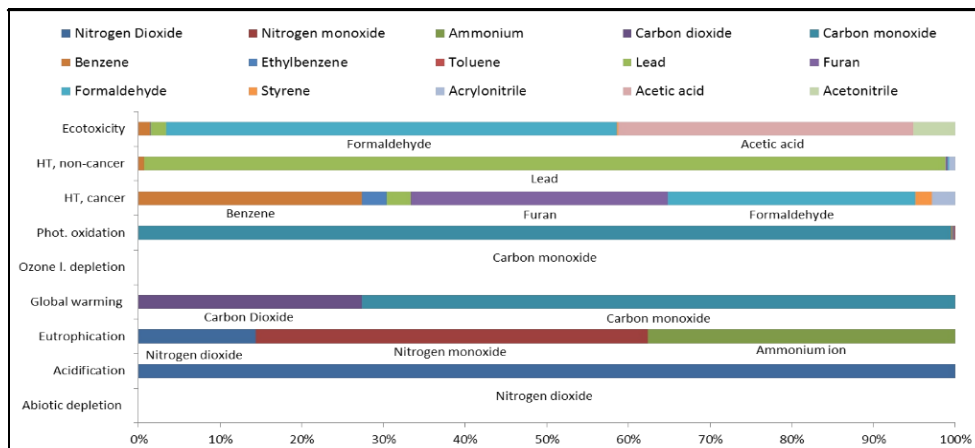
Највећи негативан допринос негативном утицају дају тробазни барути и у томе нитроцеулоза има допринос од 62% утицаја.

Главни доприноси повезани са продуктима детонације муниције калибра 155 mm

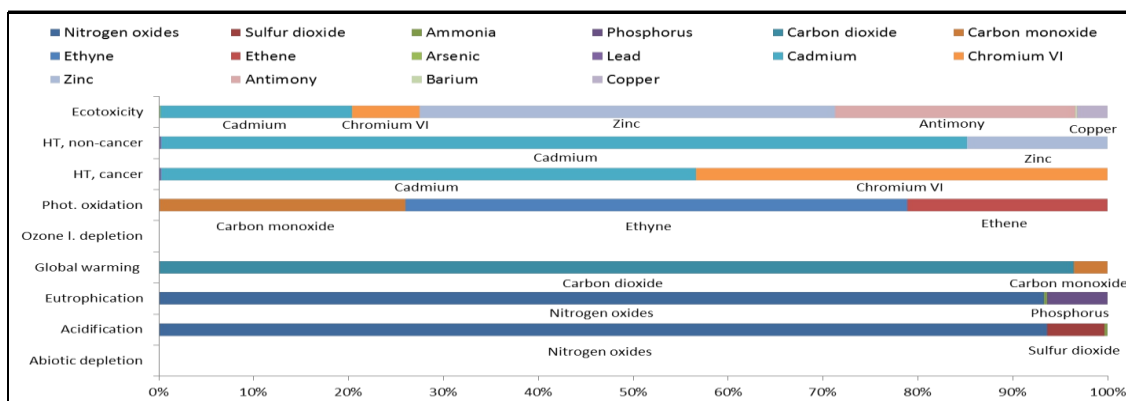


Слика 5.4. Доприноси и утицаји продуката метка 155 mm на животну средину (Rosenbaum et al., 2008)

На сликама 5.4., 5.5. и 5.6. су приказани ефекти и последице утицаја приликом гађања и детонације муниције у фазама употребе. Већи доприноси у емисијама имају погонска пуњења него експлозивни. Разлог је проценат тешких метала у продуктима, тако да се приликом детонације производе кадмијум и хром VI. Док се приликом гађања јавља већа количина угљен монооксида која је 1022 пута већа и угљен диоксида која је 14 пута већа од продуката приликом детонације.



Слика 5.5. Доприноси и утицаји продуката метка 155 mm на животну средину приликом испалења, (Rosenbaum et al., 2008)



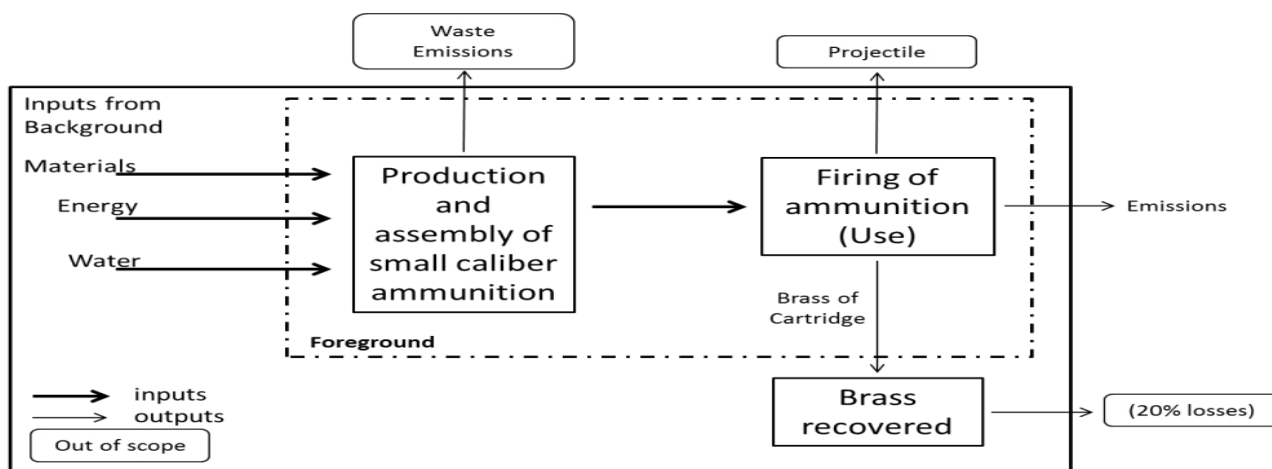
Слика 5.6. Доприноси и утицаји продуката метка 155 mm на животну средину приликом детонације (Rosenbaum et al., 2008)

5.3. Муниција малог калибра

Предмет истраживања је процена и упоређивање еколошких и токсиколошких утицаја са животним циклусом четири врсте муниције калибра 9 mm. Челична облога и оловно језгро са челичном и оловном превлаком. Поред овог истраживања, постоји могућност побољшања перформанси.

5.4. Опис система и апаратуре за испитивање животног циклуса

На Слици 5.7. приказан је модел животног циклуса производње и употребе муниције малог калибра. Емисије које су резултат процеса производње нису укључене у модел.



Слика 5.7. Модел животног циклуса муниције малог калибра (Rotariu et al., 2015).

На Слици 5.8. су приказане комбинације муниције малог калибра фирме U. M. SADU са следећим врстама и типовима метака:

- FMJ – TRNPb – муниција са челичном облогом са оловним језгром и оловним прајмером EM оловотрирезорцинат,
- FMJ – DDNP – муниција са челичном облогом са оловним језгром и безоловним прајмером диазодинитрофенол,
- Frang – TNRPb – муниција са бакарном облогом, најлонским композитним метком и оловним прајмером и
- Frang – DDNP – муниција са бакарном облогом, најлонским композитним метком и безоловним прајмером диазодинитрофенол.



Слика 5.8. Четири калибра муниције са два различита пројектила и прајмера (Rotariu et al., 2015).

Табела 5.5. Материјали и компоненте које се користе у производњи муниције калибра 9 mm (Rotariu et al., 2015)

	#1		#2		#3		#4	
Компонента	Материјал	Тежина (kg)	Материјал	Тежина (kg)	Материјал	Тежина (kg)	Материјал	Тежина (kg)
Пуњење	Месинг	4.9E-03	Месинг	4.9E-03	Месинг	4.9E-03	Месинг	4.9E-03
Пројектил	Челик	3.9E-03	Челик	3.9E-03	Најлон	4.1E-03	Најлон	4.1E-03
	Олово	6.1E-03	Олово	6.1E-03	Бакар	1.0E-03	Бакар	1.0E-03
	Антимон у праху	9.5E-05	Антимон у праху	9.5E-05				
Прајмер	Месинг	2.4E-04	Месинг	2.4E-04	Месинг	2.4E-04	Месинг	2.4E-04
	TNR-Pb	1.0E-05	DDNP	6.3E-06	TNR-Pb	1.0E-05	DDNP	6.3E-06
	Тетразен	1.3E-06	Тетразен	1.3E-06	Тетразен	1.3E-06	Тетразен	1.3E-06
	Баријум нитрат	4.9E-06			Баријум нитрат	4.9E-06		
	Антимон сулфид	1.3E-06	Цинк пероксид	1.4E-05	Антимон сулфид	1.3E-06	Цинк пероксид	1.4E-05
	Олово диоксид	1.3E-06	Титанијум у праху	3.7E-06	Олово диоксид	1.3E-06		
	Калцијум силицид	1.3E-06			Калцијум силицид	1.3E-06	Титанијум у праху	3.7E-06
Барут	Једнобазни барут	4.1E-04	Једнобазни барут	4.1E-04	Једнобазни барут	4.1E-04	Једнобазни барут	4.1E-04
	картон	3.2E-04	Картон	3.2E-04	картон	3.2E-04	картон	3.2E-04
Укупна тежина		1.6E-02		1.6E-02		1.1E-02		1.1E-02

У лабораторијском условима са уметнутом цеви са полиетиленским резервоаром од 60 l за прикупљање чврстих остатака са врећама обложеним дрвеним оквирима 250 до 500 l за прикупљање гасовитих производа. Испитивање се спроводи испаливање по десет хитаца за сваку врсту муниције. За анализу се користи метода атомске апсорпције, спектрометрија и електронска микроскопија. Добијени подаци се обрађују у програмском софтверу „GasVision”, верзије 5.8.2. У Табели 5.6. приказане су емисије у вези испалења, где се може утврдити да муниција са композитним пројектилом доприноси знатно већој

емисији Cu.

Табела 5.6. Количина емисије приликом испалења четири врсте муниције калибра 9 mm (Rotariu et al., 2015)

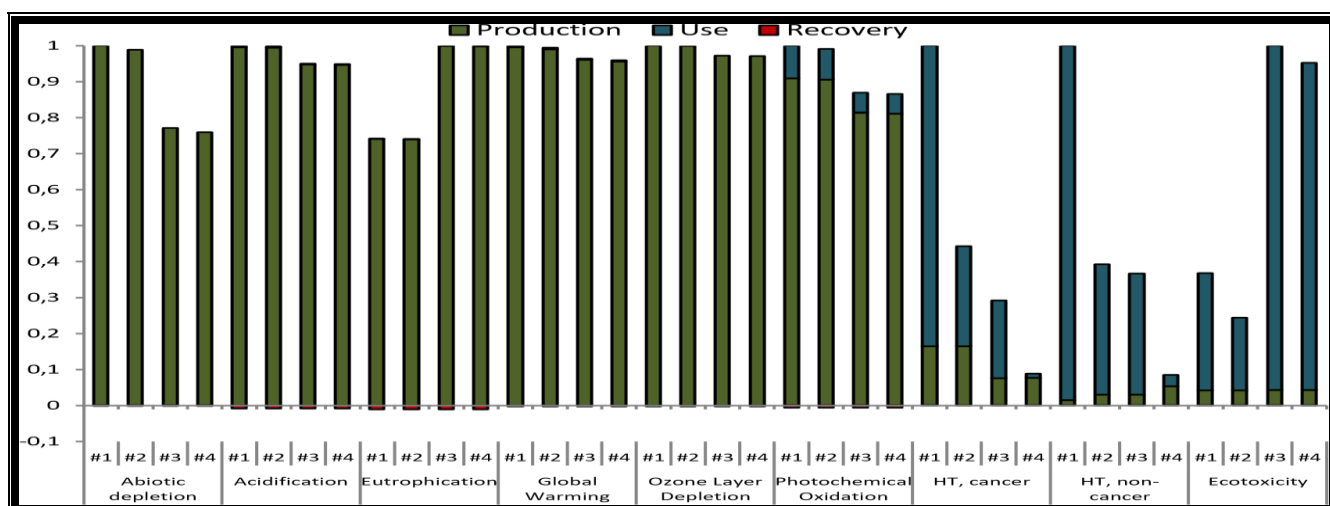
Емисија (mg/по метку)				
Супстанца	#1	#1	#1	#1
CO	198,65	184,75	119,21	118,76
CO ₂	101,79	96,79	58,56	57,93
NO	3,80	3,22	3,85	4,41
NO ₂	0,64	0,62	0,49	0,52
NH ₃	3,10	2,46	1,67	1,84
HCN	1,77	1,22	0,18	0,13
CH ₄	1,10	0,96	0,61	0,59
Pb	3,14	1,04	0,81	0,04
Cu	0,55	0,41	4,85	5,21
Zn	0,12	0,11	0,19	0,03
Sb	0,37	0,20	0,15	НД

НД – емисија антимоно (Sb) за муницију #4 није откривена

Разматрани су остаци на полигонима и стрелиштима, при чему је утврђено да је то најчешће месинг који иде на прераду и рециклажу.

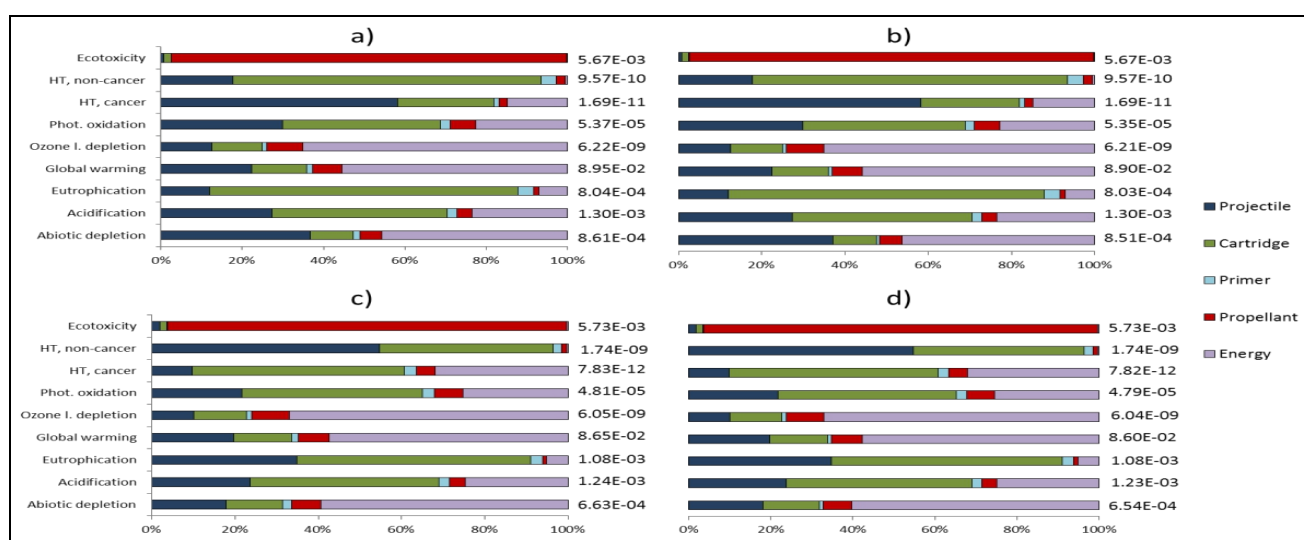
5.5. Процена утицаја муниције малог калибра на животни циклус

На слици 5.9. приказан је утицај све три фазе животног циклуса: производња, употреба и рециклажа. Може се утврдити да производња има највећи утицај на животну средину, употреба на токсичност, а рециклажа доприноси побољшању обе, али у малом проценту.



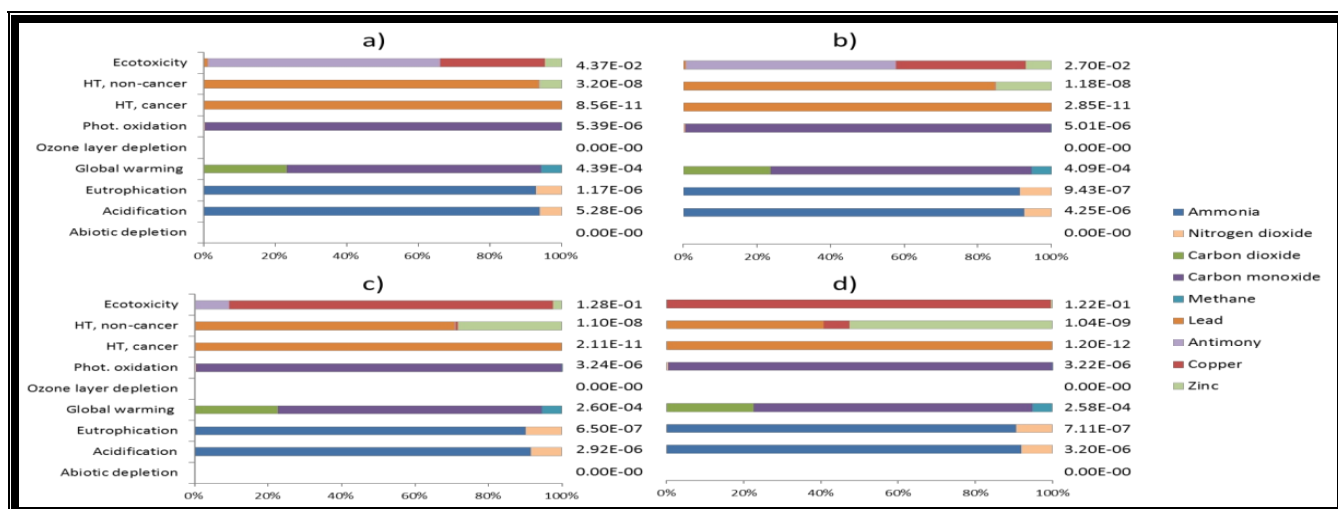
Слика 5.9. Поређења животног циклуса између четири врсте муниције калибра 9 mm (#1 челично оловни пројектил са оловним прајмером, #2 челично оловни пројектил без оловног прајмера, #3 композитни пројектил са оловним прајмером и #4 композитни пројектил без оловног прајмера) (Rotariu et al., 2015)

На слици 5.10. приказани су утицаји на фазе производње. Свака компонента и елемент троши енергију.



Слика 5.10. Утицаји четири врсте муниције калибра 9 mm у фази производње (#1 челично оловни пројектил са оловним прајмером, #2 челично оловни пројектил без оловног прајмера, #3 композитни пројектил са оловним прајмером и #4 композитни пројектил без оловног прајмера, напомена: абиотско исцрпљивање (kg Sb екв.), закисељавање (CO₂ екв.), еутрофикација (kg PO₄⁻³), глобално загревање (kg CO₂ екв.), оштећење озонског омотача (kg CFC-11 екв.), фото оксидација (kg C₂H₄ екв.), случајеви канцера и без канцера и екотоксичност у PAF (m³/дан) (Rotariu et al., 2015.)

На Слици 5.11. су приказани утицаји испљивања четири врсте муниције током фазе употребе.

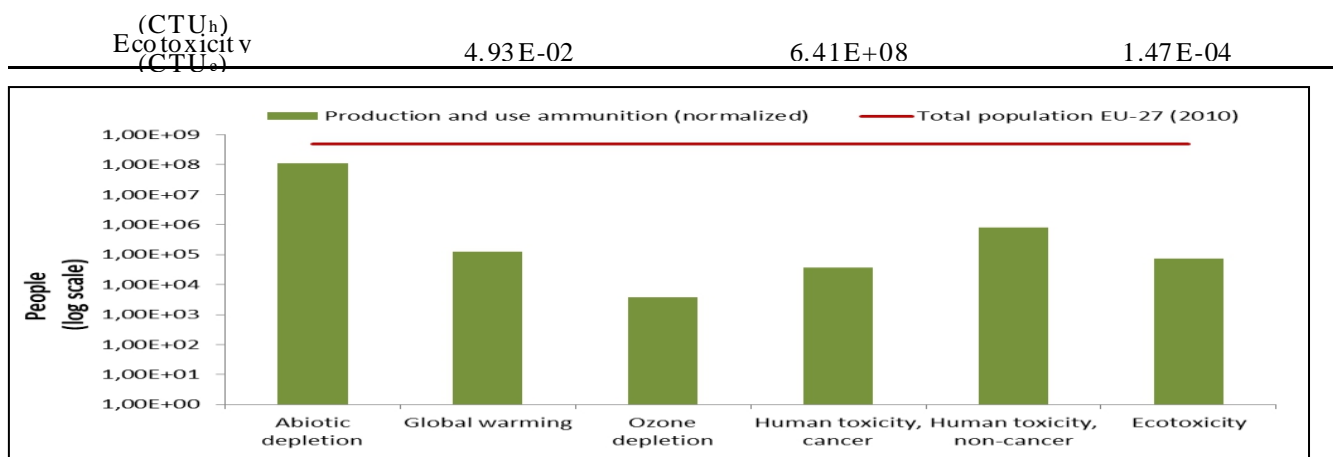


Слика 5.11. Утицаји четири врсте муниције калибра 9 mm током испаливања (#1 челично оловни пројектил са оловним прајмером, #2 челично оловни пројектил без оловног прајмера, #3 композитни пројектил са оловним прајмером и #4 композитни пројектил без оловног прајмера, напомена: абиотско исцрпљивање (kg Sbекв.), закисељавање (CO₂ екв.), еутрофикација (kg PO₄⁻³), глобално загревање (kg CO₂екв.), оштећење озонског омотача (kg CFC-11 екв.), фото оскидација (kg C₂H₄ екв.), случајеви канцера и без канцера и екотоксичност у PAF (m³/дан) (Rotariu et al., 2015)

У Табели 5.7. је приказана нормализован утицај производње и употребе муниције малог калибра. На Слици 5.12. је приказана нормализација утицаја муниције у односу на укупну популацију.

Табела 5.7. Нормализовани утицај производње и употребе муниције малог калибра (Benini et al., 2015)

Категорије утицаја	Производња муниције и употреба по метку	Производња муниције и употреба (13x109)	Нормализовани утицај
Трошење ресурса (kg Sbекв.)	8,61E-04	1,12E+07	2,22E-01
Климатске промене (kg CO ₂ екв.)	9,00E-02	1,17E+09	2,54E-04
Оштећење озонског омотача (kg CFC-11екв.)	6,22E-09	8,09E+01	7,49E-06
Токсичност за људе, рак (STUh)	1,03E-10	1,33E+00	7,25E-05
Токсичност за људе, без рака (STUh)	3,30E-08	4,29E+02	1,61E-03
Екотоксичност (STUe)	4,93E-02	6,41E+08	1,47E-04



Слика 5.12. Приказ удара муниције малог калибра који је еквивалентан просечном утицају по особи у ЕУ-27 (2010), израчунати коришћењем нормализованих фактора по особи (Benini et al., 2015)

Сви резултати су корисни и делотворни за произвођаче, кориснике, власнике стрељана, ловце и остале кориснике ради сагледавања оправданости прихватања алтернатива које би смањиле негативне ефекте утицаја НУС продуката и емисије убојних средстава.

5.6. Процена животног циклуса одлагања муниције

Војска САД располаже великим количинама убојних средстава и представљају шестину укупних залиха западних земаља, што износи 450,000 тона. Претичуће количине муниције је потребно одложити на што прихватљивији начин у смислу заштите животне средине. Енергетске материје из убојних средстава треба тежити да се искористе за неке друге сврхе, у сврхе привредних потреба, јер се тиме превазилазе проблеми емисије производа уништавања. Модел које је приказан илуструје делаборацију убојних средстава обухватом следећих процеса: демонтажа муниције, вађење енергетског материјала, спаљивање и третман емисије гасова. На Слици 5.13. приказан је дијаграм процеса демилитаризације.



Слика 5.13. Дијаграм процеса демилитаризације (Benini et al., 2015)

У Табели 5.8. приказан је инвентар за потребе спаљивања и прераду гасова по kg TNT екв.

Табела 5.8. Инвентар за спаљивање и прераду гасова по kg TNT екв. (Benini et al., 2015)

Спаљивање и третман гасова			
Улазни подаци	електрична енергија		7,860 kWh
	пропан		1320 kg
	материјали		
	вода		15,31 kg
	уреа		0,280 kg
	азотна киселина		0,078 kg
	натријум хидроксид		0,060 kg
	водоник пероксид		0,004 kg
	зеолит		0,050 kg
Ислазни подаци	материјали		
	муљ		0,008 kg
	честице прашине		0,032 kg
	пепео и шљака		0,040 kg
	материјали		
	2,3,7,8 TCDD*	8,65E-13 kg NO _x	4,06E-03 kg
	1,2,3,4,7,8 H _x CDD*	1,73E-12 kg SO ₂	3,98E-04 kg
	1,2,3,7,8,9 H _x CDD*	8,65E-13 kg Hg	1,71E-06 kg
	1,2,3,4,6,7,8 H _p CDD*	8,65E-13 kg Cd	1,54E-06 kg
	OCDD	8,65E-15 kg As	3,33E-06 kg
Фуран	9,52E-15 kg Ni	2,47E-06 kg	
Ислазни подаци	материјали		
	HF	8,36E-05 kg Pb	2,05E-06 kg
	HCl	8,36E-05 kg Cu	2,05E-06 kg
	VOC	6,55E-04 kg Cr	2,05E-06 kg
	CO	1,28E-03 kg CO ₂	6,24E+00 kg
	H ₂ S	2,81E-04 kg PM	4,20E-04 kg

* - диоксини

У Табели 5.9. приказан је инвентар потребан за процес производње и интегрални транспорт.

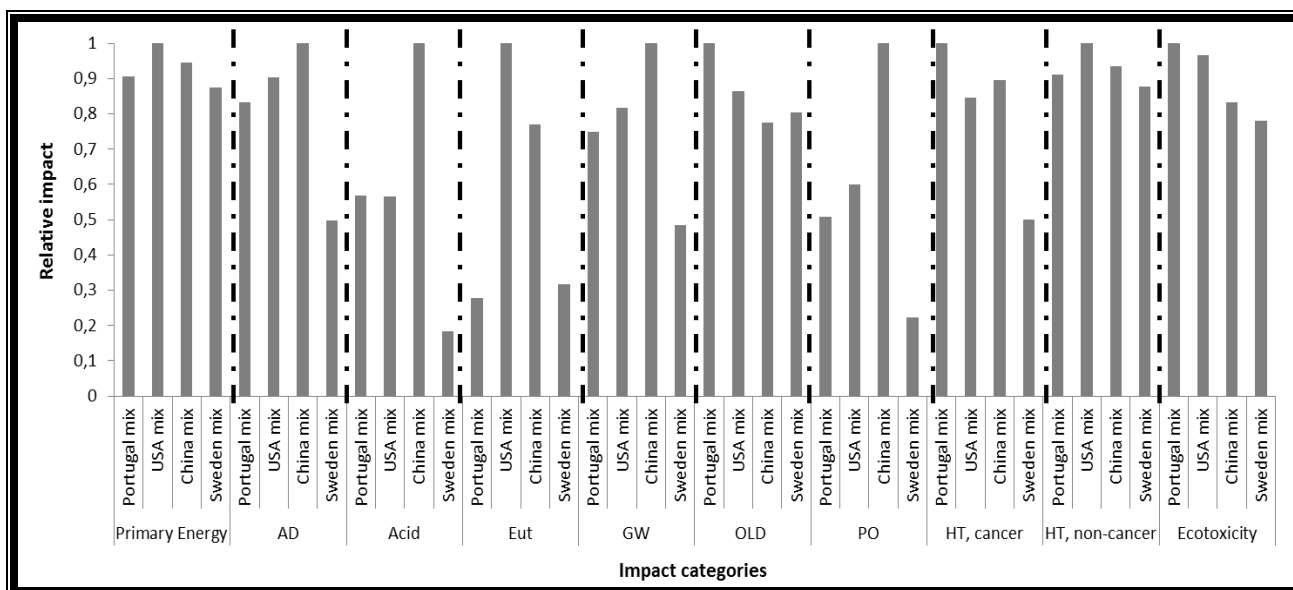
Табела 5.9.Инвентар за производњу и транспорт опреме (Benini et al., 2015)

Опрема				
	Материјални састав	Тежина (kg)	Транспорт, дистанца (km)	Тип транспорта
Комора за спаљивање	Метал	17000	3984	Камион
Комора за сагоревање	Метал	5150	2521	Камион
Филтер киселине	Полипропилен	43,3	2521	Камион
Алкални филтер	Стаклена влакна	21,7	2521	Камион
Спреј преципитатор	Полипропилен	14,4	2521	Камион

Табела 5.10. Резултати одлагања kg TNTекв. енергетског материјала (Benini et al., 2015)

Категорија	Јединица мере	Процес			
		Демонтажа	Спаљивање/третман гасом	Опрема	Укупно
Примарна енергија	MJ	(18,2%) 40,7	(79,9%) 179,1	(1,9%) 4,3	(100%) 224,1
Абиотско исцрпљивање	kg Sb екв.	(18,0%) 1,8E-02	(79,8%) 8,1E-02	(2,20%) 2,0E-03	(100%) 1,0E-01
Закисељавање	kg SO ₂ екв.	(15,0%) 1,1E-02	(83,5%) 6,1E-02	(1,54%) 1,0E-03	(100%) 7,3E-02
Еуторфикација	kg PO ₄ екв.	(12,6%) 6,6E-04	(83,0%) 4,0E-03	(4,40%) 2,3E-04	(100%) 4,9E-03
Глобално загревање	kg CO ₂ екв.	(7,70%) 1,15	(90,5%) 13,4	(1,80%) 0,27	(100%) 14,8
Оштећење озонског омотача	Kg CFC-11 екв.	(20,2%) 2,8E-07	(78,5%) 1,1E-06	(1,24%) 1,7E-08	(100%) 1,4E-06
Фотохемијска оксидација	kg C ₂ H ₄ екв.	(15,6%) 4,7E-04	(80,3%) 2,0E-03	(4,19%) 1,3E-04	(100%) 2,0E-03
Токсичност за људе, канцер	CTUh	(10,9%) 4,9E-11	(85,8%) 3,8E-10	(3,30%) 1,5E-11	(100%) 4,5E-10
Токсичност за људе без канцера	CTUh	(7,4%) 3,9E-11	(86,7%) 4,6E-10	(5,9%) 3,2E-11	(100%) 5,3E-10
Екотоксичност	CTUe	(21,5%) 2,7E-03	(76,1%) 1,0E-02	(2,40%) 3,1E-04	(100%) 1,3E-02

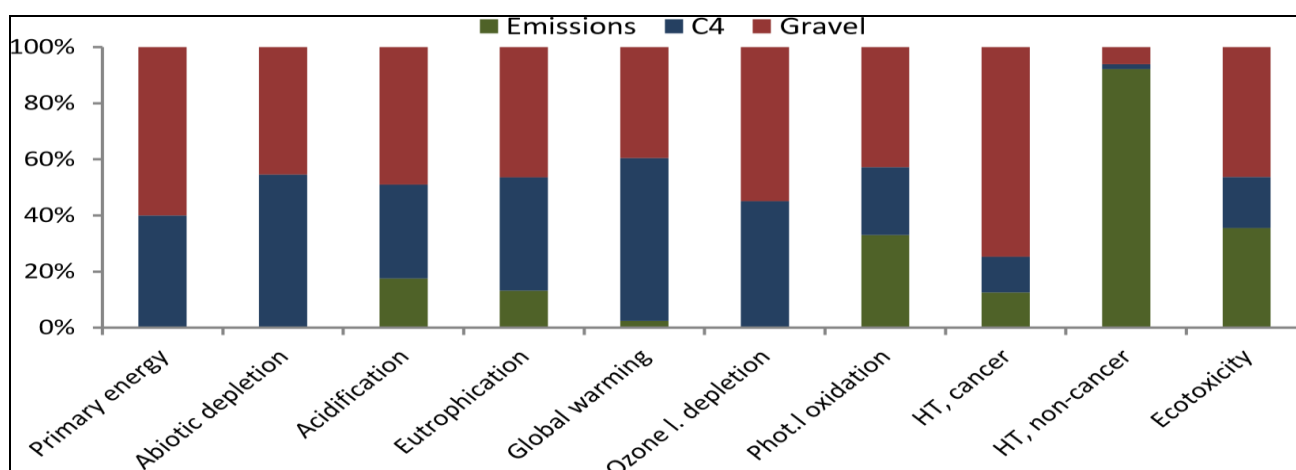
На Слици 5.14. приказан је упоредни приказ приликом спаљивања енергетских материја у статичким пећима примењујући различите мешавине електричне енергије у четири државе (Португалија, САД, Кина и Шведска).



Слика 5.14. Упоредни приказ спаљивања у статичкој пећи узимајући у обзир четири различите мешавине електричне енергије (Benini et al., 2015)

5.7. Демилитаризација убојних средстава применом отворене детонације

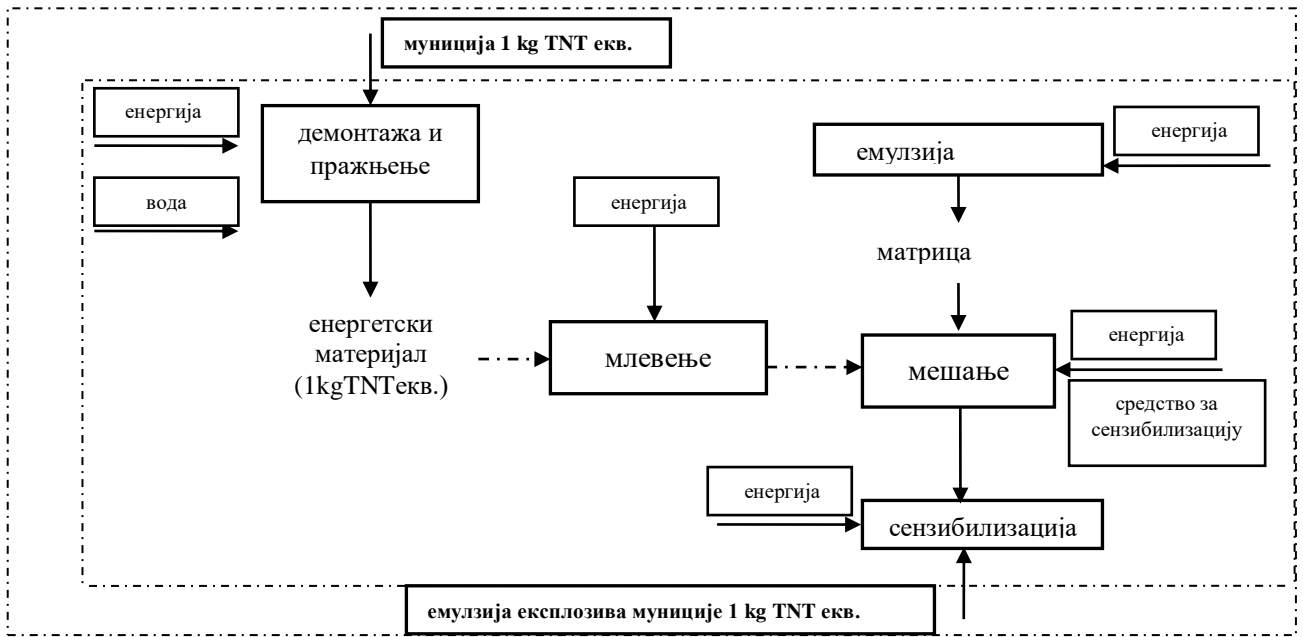
Уништавање убојних средстава применом методе на отвореном простору је коришћено средство за иницијацију и шљунак за покривање фугасе у којој су иницирана муниција калибра 155 mm. За иницијацију је употребљен експлозив C4 као иницијатор у количини од 0,6 kg, а за прекривање фугасе са муницијом шљунак у количини од 1138,5 kg. На Слици 5.15. приказан је утицај животног циклуса на детонацију муниције 155 mm на отвореном простору.



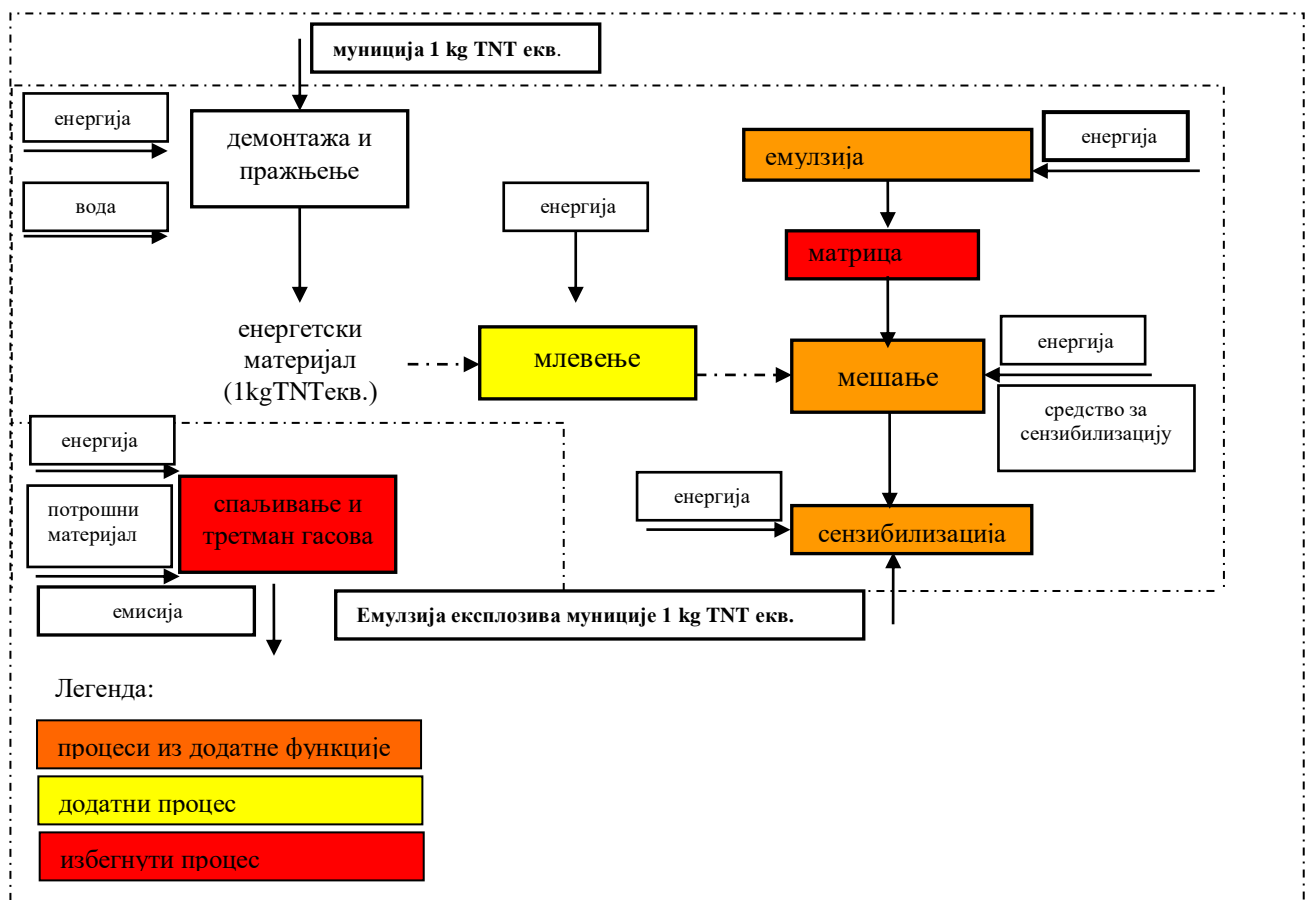
Слика 5.15. Утицај животног циклуса приликом детонације муниције калибра 155 mm на отвореном простору (Benini et al., 2015)

Уништавањем енергетских материјала доприносимо емисији НУС продуката у животну средину, што би се могло превазићи валоризацијом експлозивних материја у неке друге сврхе. Узимајући у обзир даљу намену енергетских материја најбоље их је уградити у привредне експлозиве, односно експлозиве за цивилну употребу.

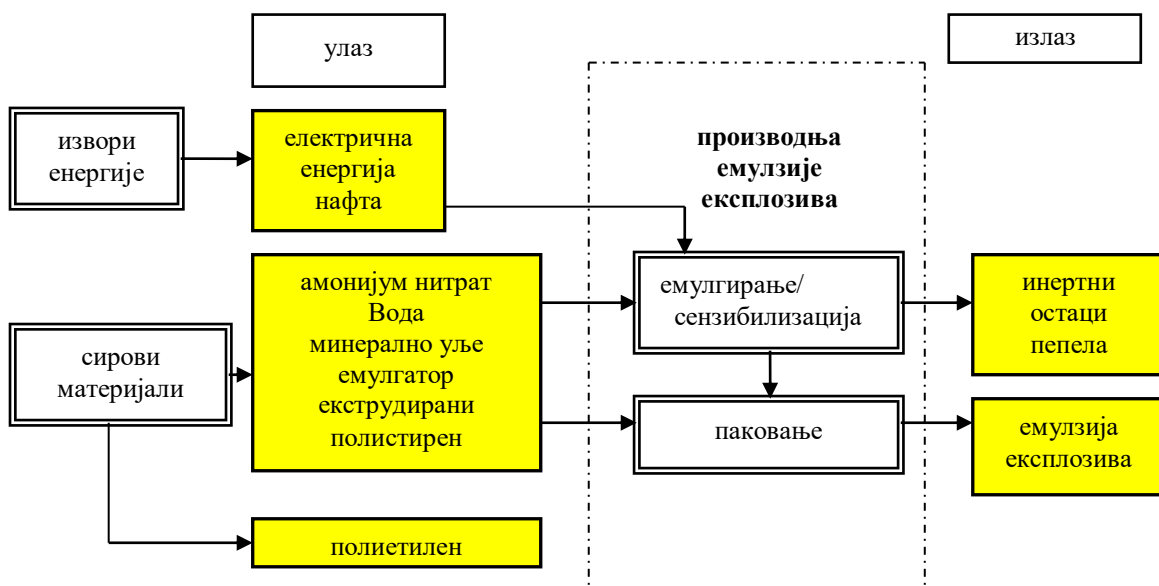
На сликама 5.16., 5.17. и 5.18., приказани су дијаграми токова валоризације 1 kg TNT екв. енергетског материјала.



Слика 5.16. Дијаграм тока који представља валоризацију 1 kg TNT экв. енергетског материјала уградњом у привредне експлозиве (Ferreira et al., 2015)



Слика 5.17. Дијаграм тока који представља валоризацију 1 kg TNT экв. енергетског материјала уградњом у привредне експлозиве (Ferreira et al., 2015)



Слика 5.18. Дијаграм тока који представља производњу емулзије експлозива (Ferreira et al., 2015)

У следећој Табели 5.11. приказани је материјални биланс за производњу емулзије експлозива изражену по kg TNT екв.

Табела 5.11. Материјални биланс приликом производње емулзије експлозива (Ferreira et al., 2015)

Улазни подаци	
Састојци	Количина
Амонијумнитрат	1,06
Вода	0,16
XPS	0,03
Минерално уље	0,13
Поликарбоксилат	0,07
Паковање	
Полиетилен	0,05
Излазни подаци	
Емулзија експлозива укључујући паковање	1,50
Пепео	0,002
Инертни материјал	0,003

Количина потребне енергије да се спровео процес производње емулзије експлозива по kg TNT екв., износи 0,11 kWh електричне енергије и 0,01 kg нафте. Трошкови транспорта за производњу експлозивне емулзије су приказани у следећој Табели 5.12.

Табела 5.12. Сигурна удаљеност приликом транспорта емулзије експлозива (Ferreira et al., 2015)

Тип транспорта	Дистанца (km)
Камион са цистерном за АН	394
Камион са приколицом за XPS	3624
Камион са приколицом за уље	77
Камион са приколицом за поликарбонат	1155
Брод за превоз поликарбоната	5217

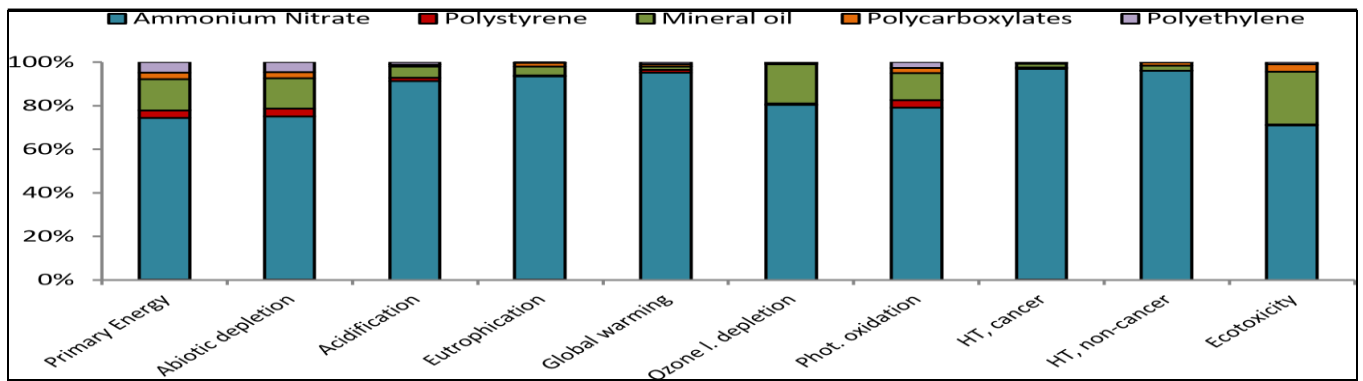
Табела 5.13. Пет алтернативних експлозивних композиција (алтернативе су подебљане) (Ferreira et al., 2015)

Алтернативне композиције	Саставни делови								
	Амонијум нитрат	Уља		Средство за сензибилизацију		Емулгатор		Остали састојци	
		минерална	биљна	XPS	Трагови стакла	TPEG	CM	Al	NaNO ₃
Основна композиција	1,06	0,13	-	0,03	-	0,07	-	-	-
#1	0,94	0,12	-	0,02	-	0,06	-	0,08	-
#2	0,96	0,13	-	0,03	-	0,07	-	-	0,10
#3	1,06	-	0,13	0,03	-	0,07	-	-	-
#4	1,06	0,13	-	0,03	-	-	0,07	-	-
#5	1,06	0,13	-	-	0,03	0,07	-	-	-

Табела 5.14. Утицај основног састава на енергију и животну средину (Ferreira et al., 2015)

Категорија утицаја	Састав емулзије	Транспорт	Енергија	Укупно
Примарна енергија (MJ)	72,4 (87,6%)	8,7 (10,5%)	1,6 (1,9%)	82,7 (100%)
Абиотско исцрпљивање (g Sb екв.)	32,5 (87,8%)	3,8 (10,3%)	0,7 (1,9%)	37,0 (100%)
Закисљавање (g SO ₂ екв.)	24,0 (92,7%)	1,2 (4,8%)	0,6 (2,5%)	25,8 (100%)
Еутрофикација (gPO ₄ ³⁻ екв.)	6,6 (95,7%)	0,2 (2,7%)	0,1 (1,6%)	6,9 (100%)
Глобално загревање (kg CO ₂ екв.)	8,1 (92,9%)	0,6 (6,3%)	0,1 (0,8%)	8,8 (100%)
Оштећење озонског омотача (mg CFC-11 екв.)	0,46 (83,9%)	0,07 (14,6%)	0,001 (1,5%)	0,55 (100%)
Фотохемијска оксидација (mg C ₂ H ₄ екв.)	550 (82,2%)	94 (14,0%)	25 (3,8%)	669 (100%)
Токсичност за људе, канцерогена (STUh)	2,6E-10 (96,7%)	5,4E-12 (2,0%)	3,7E-12 (1,4%)	2,7E-10 (100%)
Токсичност за људе не канцерогена (STUh)	1,0E-09 (99,0%)	8,1E-12 (0,8%)	2,4E-12 (0,2%)	1,1E-09 (100%)
Екотоксичност (STUe)	0,004 (81,3%)	7,0E-04 (17,0%)	7,5E-05 (1,7%)	0,004 (100%)

На Слици 5.19. приказан је допринос састојака основног састава емулзијског експлозива.



Слика 5.19. Допринос састојака емулзијског експлозива (Ferreira et al., 2015)

5.8. Упоредна анализа пет различитих емулзија експлозива

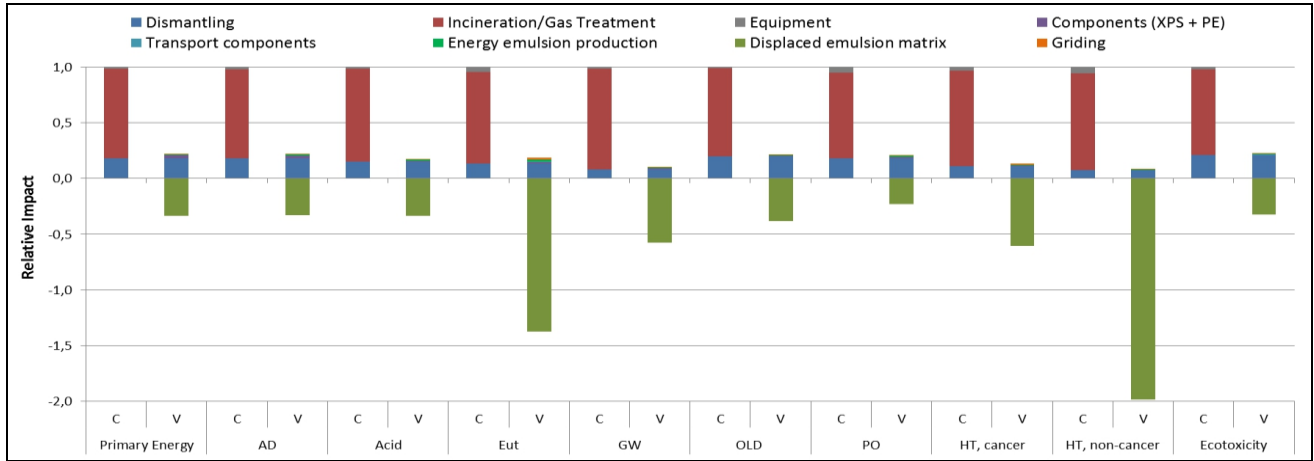
У Табели 5.15. су приказани резултати утицаја енергије на животну средину са пет различитих емулзија експлозива, тако што су највиши резултати подебљани, а најнижи подвучени.

Табела 5.15. Анализа утицаја енергије на животну средину са различитим емузионим саставима (Ferreira et al., 2015)

Категорија утицаја	Састав емулзије	#1	#2	#3	#4	#5
Примарна енергија (MJ)	82,6	84,5 (2,3%)	<u>76,8</u> (-7,0%)	80,6 (-2,4%)	87,9 (6,4%)	80,4 (-2,7%)
Абиотско исцрпљивање (gSb екв.)	37,0	37,0 (0,0%)	34,0 (-8,1%)	33,0 (-11,0%)	39,0 (5,4%)	36,0 (-2,7%)
Закисељавање (gSO ₂ екв.)	26,0	26 (0,0%)	24,0 (-7,7%)	28,0 (7,7%)	27,0 (3,8%)	26,0 (0,0%)
Еутрофикација (gPO ₄ ³⁻ екв.)	7,0	7,0 (0,0%)	<u>6,0</u> (-14,0%)	9,0 (29,0%)	7,0 (0,0%)	7,0 (0,0%)
Глобално загревање (kgCO ₂ екв.)	8,8	8,4 (-4,5%)	<u>7,9</u> (-9,0%)	8,9 (1,3%)	9,0 (2,5%)	8,7 (-0,3%)
Оштећење озонског омотача (mgCFC-11 екв.)	0,55	0,52 (-5,5%)	0,51 (-7,3%)	<u>0,50</u> (-9,1%)	0,62 (12,7%)	0,55 (-0,0%)
Фотохемијска оксидација (mgC ₂ H ₄ екв.)	669,0	859,0 (28%)	<u>616,0</u> (-7,9%)	623,0 (-7,0%)	730,0 (9,1%)	658 (-1,6%)
Токсичност за људе, канцерогена (STUh)	2,7E-10	2,7E-10 (0,0%)	<u>2,5E-10</u> (-7,4%)	2,9E-10 (7,4%)	3,0E-10 (11,0%)	2,7E-10 (0,0%)
Токсичност за људе не канцерогена (STUh)	1,0E-09	1,0E-09 (0,0%)	<u>9,7E-10</u> (-12,0%)	1,1E-09 (10,0%)	1,0E-09 (0,0%)	1,0E-09 (0,0%)
Екотоксичност (STUe)	0,0044	0,0044 (0,0%)	<u>0,0041</u> (-6,8%)	0,158 (3850,0%)	0,005 (25,0%)	0,0044 (0,0%)

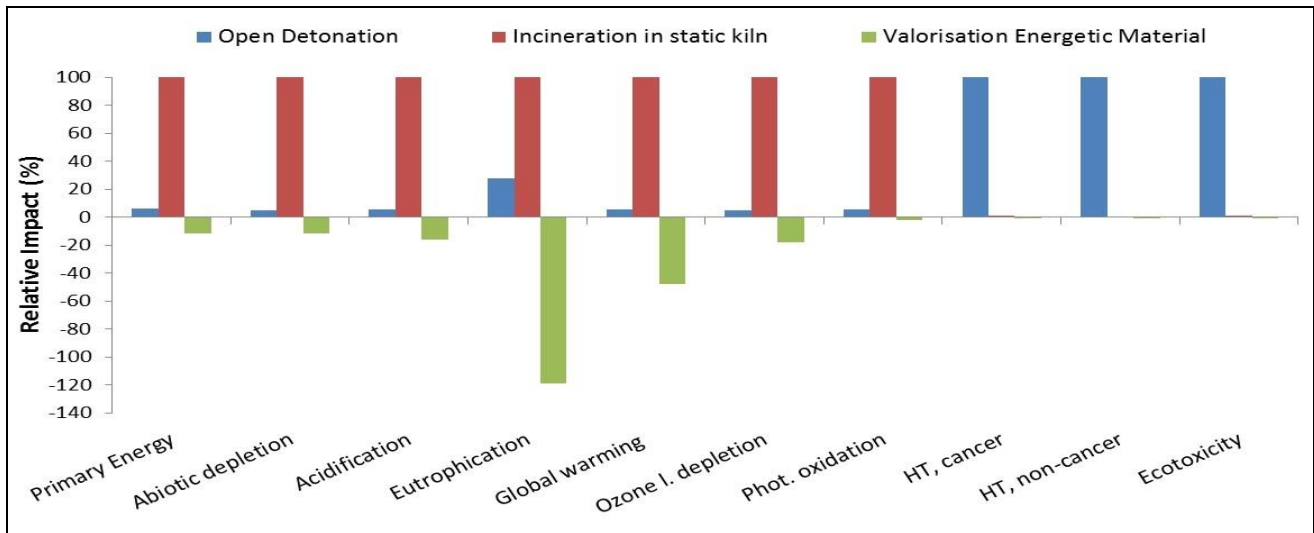
5.9. Процена утицаја на животни циклус убојних средстава применом различити приступа уништавања

Упоредним испитивањем процеса валоризације енергетских материјала и процеса конвенционалног уништавања убојних средстава добијени су стварни показатељи различитог утицаја на животну средину. Резултати истраживања су приказани на Слици 5.20.



Слика 5.20. Поређење утицаја на животну средину применом уништавања убојних средстава поступком спаљивања (C) и процеса валоризације енергетског материјала из убојних средстава у цивилне сврхе (Ferreira et al., 2015).

Паралелено са овим поређењем, истраживањем је извршено и поређење детонације спаљивањем у статичкој пећи са третманом гасова и валоризације енергетског материјала. Резултати су приказани на Слици 5.21.



Слика 5.21. Поређење утицаја на животну средину применом уништавања убојних средстава поступком спаљивања у статичкој пећи са третманом гасова и валоризације енергетског материјала у цивилне сврхе (Ferreira et al., 2015).

5.10. Систем квалификације опасности и имплементације ограничења REACH регулативе у софтверској методи USEtox

Истраживањем се развио и нови модел за побољшањем квалификације опасних супстанци на основу процене утицаја на животни циклус. Применом методе софтвера USEtox израчунавају се фактори

карактеризације (CFs) виртуалних супстанци, чија су својства дефинисана регулативом REACH. Резултат оваквог модела представља токсиколошких утицаја енергетских супстанци на здравље људи. Токсиколошки фактори израчунати су за сваку виртуалну супстанцу, ради сагледавања потенцијалних ефеката емисије комбинацијом физичко-хемијских супстанци. Ограничења за физичко-хемијска својства која карактеришу виртуалне супстанце су приказана у Табели 5.16.

Табела 5.16. Ограничења за физичко хемијска својства која карактеришу виртуелне супстанце (Huijbregts et al., 2010)

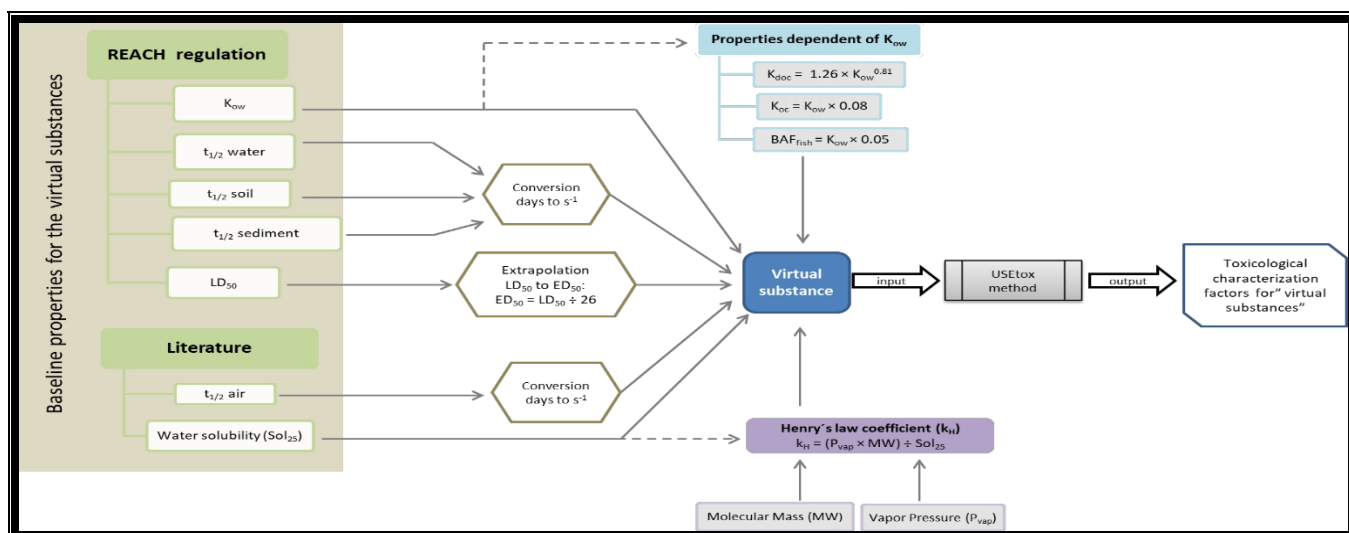
Параметри	Време контаминације, каренца (PBT)	Извор
$t_{1/2}$ ваздух	> 2 дана	Scheringetal., 2006
$t_{1/2}$ вода	> 40 дана	Европска комисија, 2006
$t_{1/2}$ тло	> 120 дана	Европска комисија, 2006
$t_{1/2}$ талог	> 120 дана	Европска комисија, 2006
$\text{Log}k_{ow}$	> 4,5	Европска комисија, 2006
$\text{Sol}_{1/2}$	> 1 mg/L	Vighi and Calmari, 1993
LD_{50}	[25 - 200] mg/kg	Европска комисија, 2008

Прорачун је извршен са осам различитих виртуалних супстанци. Једна виртуална супстанца има граничну вредност, док осталих седам имају вредност испод границе. Током прорачуна направљена је корелација између граничних вредности и физичко хемијским својствима супстанци. Резултати су приказани у Табели 5.17.

Табела 5.17. Ограничења за физичко хемијска својства која се користе за стварање виртуалних супстанци (Huijbregts et al., 2010)

Параметри	Јединица	Виртуалне супстанце							
		BC $t_{1/2}$ ваздух	BC $t_{1/2}$ ваздух	BC $t_{1/2}$ ваздух	BC $t_{1/2}$ ваздух	BC k_{ow}	Sol_{25}	BC ED ₅₀	Екстремно BC
$t_{1/2}$ ваздух	Дана	2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2
$t_{1/2}$ вода	дана	4	40	4	4	4	4	4	40
$t_{1/2}$ тло	Дана	12	12	120	12	12	12	12	120
$t_{1/2}$ талог	Дана	12	12	12	120	12	12	12	120
$\text{Log}k_{ow}$	-	3162	3162	3162	3162	31623	3162	3162	31623
$\text{Sol}_{1/2}$	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,1	1
LD_{50}	mg/kg	2000	2000	2000	2000	2000	2000	200	200

Својства виртуалних супстанци изабраних на основу законских ограничења, међутим за нека својства потребна је конверзија. Ограничења су дефинисана у полувремену трајања изражена у данима, па је конверзија потребна због стопе биоразградње који је описан у (Huijbregts et al., 2010). Исти приступ се спроводи за својство ограничења токсичности (LD_{50}) на основу екстраполационих екстремних хроничних ефеката.



Слика 5.22. Алгоритам за израчунавање токсиколошких фактора карактеризације виртуелних супстанци (Huijbregts et al., 2010)

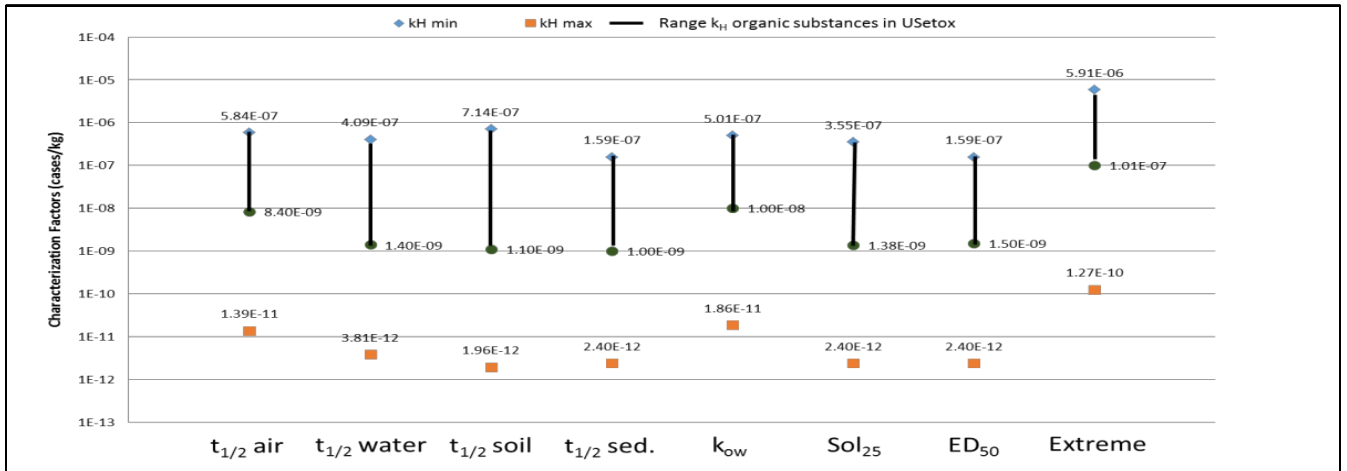
У следећој Табели 5.18. приказана су ограничења, у складу са полувременима за осам виртуелних супстанци.

Табела 5.18. Ограничења у складу са полувременима за осам виртуелних супстанци (Huijbregts et al., 2010).

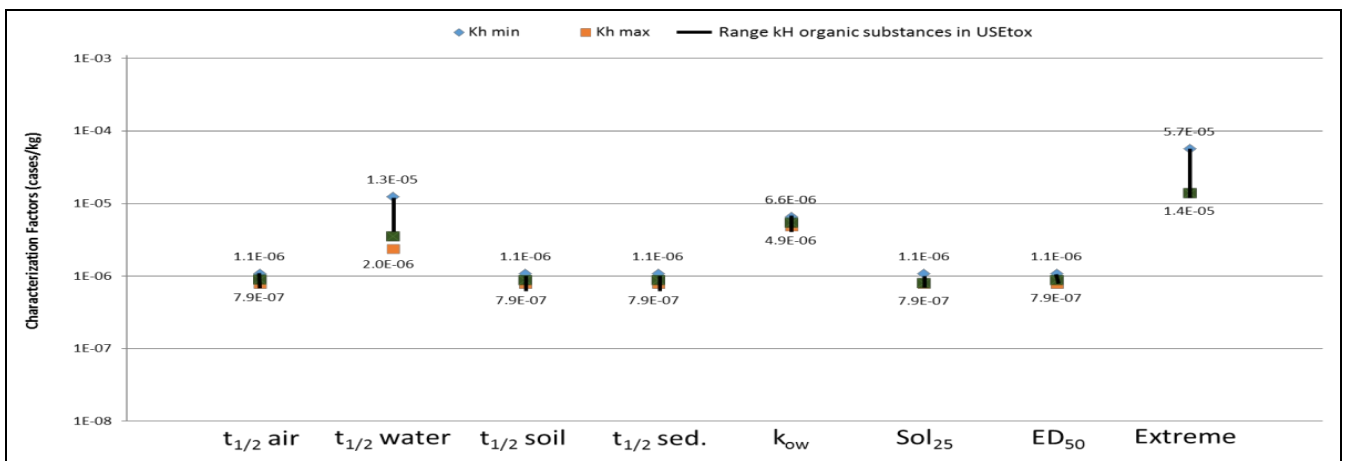
Параметри	Јединице	Ограничења за сценаријо са задатим полувременима виртуалних супстанци							
		BC $t_{1/2}$ ваздух	BC $t_{1/2}$ вода	BC $t_{1/2}$ тло	BC $t_{1/2}$ талог	BC k_{ow}	Sol_{25}	BC ED_{50}	Екстремно BC
k_{ow}	-	3162	3162	3162	3162	31623	3162	3162	31623
k_{oc}	L/kg	862	862	862	862	5564	862	862	5564
Sol_{25}	Mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,1	1
k_{deg} ваздух	s^{-1}	7,80E-06	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	7,80E-06
k_{deg} вода	s^{-1}	3,40E-06	2,10E-07	3,40E-06	3,40E-06	3,40E-06	3,40E-06	3,40E-06	2,10E-07
k_{deg} тло	s^{-1}	4,82E-07	4,82E-07	6,50E-08	4,82E-07	4,82E-07	4,82E-07	4,82E-07	6,50E-08
k_{deg} талог	s^{-1}	1,03E-07	1,03E-07	1,03E-07	1,40E-08	1,03E-07	1,03E-07	1,03E-07	1,40E-08
k_{doc}	L/kg	253	253	253	253	2530	253	253	2530
$BAF_{риба}$	L/kg	158	158	158	158	1581	158	158	1581
ED_{50}	кг/полу-време	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	7,69	7,69
Молярна маса	g/mol	[10 - 10000]	[10 - 10000]	[10 - 10000]	[10 - 10000]	[10 - 10000]	[10 - 10000]	[10 - 10000]	[10 - 10000]
P_{vap} Притисак паре	Pa	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]	[1,0E-07 - 1,0E+05]
k_H Коефицијент Хенријевог закона	$Pa \cdot m^3/mol$	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]	[1,0E-05 - 1,0E+09]

Кључни показатељ карактеристика опасне материје је да ли су физичко-хемијска својства изнад дозвољене границе вредности. Применом ове методе мора се водити рачуна да виртуалне супстанце које

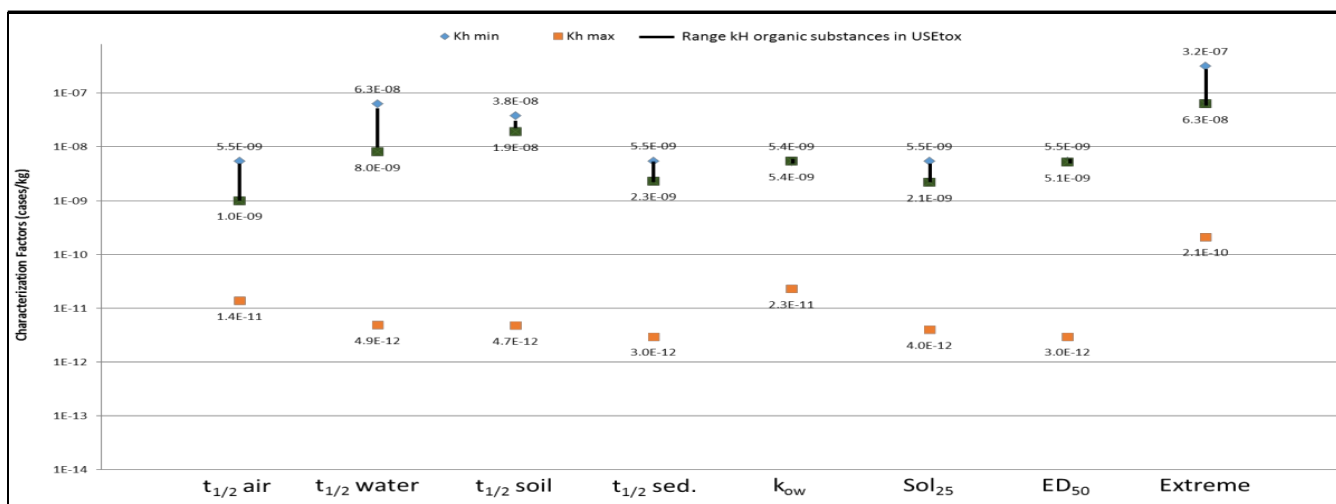
су у границама по свим физичко-хемијским својствима нису мање опасне по животну средину у односу на супстанцу у којој само један или два параметара изнад граничне вредности. На Слици 5.22. су приказани резултати карактеризације са осам виртуелних супстанци у градском одељењу за емисију ваздуха, а на сликама 5.23., 5.24. и 5.25., приказани су фактори емисије виртуалних супстанци у простору.



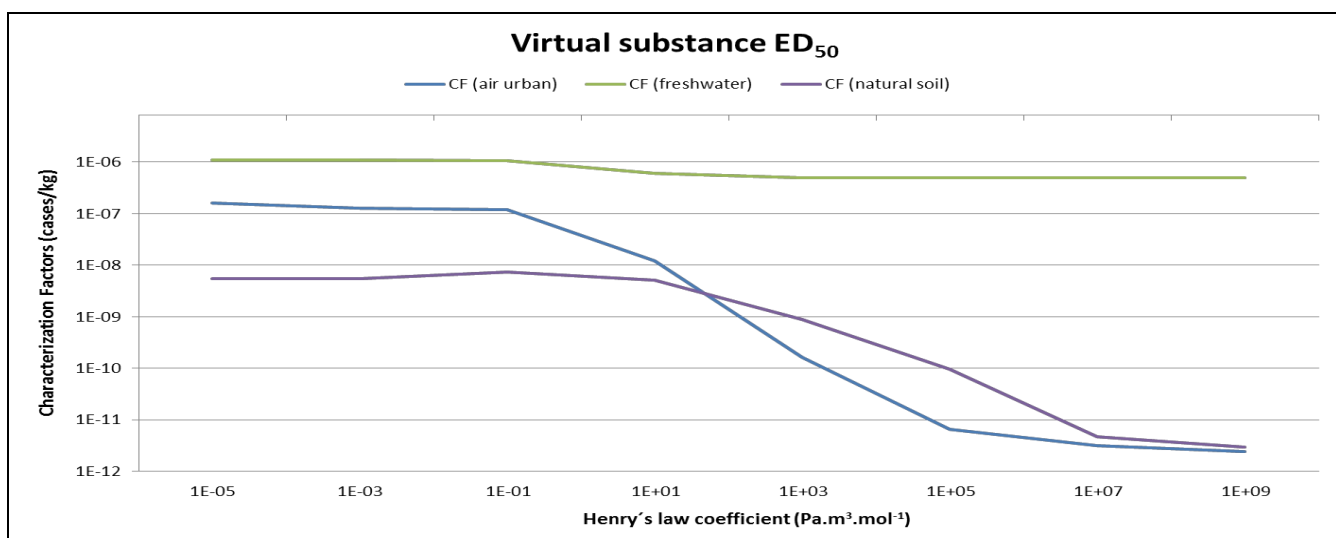
Слика 5.23. Токсиколошки фактори карактеризације повезани са осам виртуелних супстанци у градском одељењу за емисију ваздуха (Huijbregts et al., 2010)



Слика 5.24. Токсиколошки фактори карактеризације повезани са осам виртуелних супстанци у простору емисије за слатку воду (Huijbregts et al., 2010)



Слика 5.25. Токсиколошки фактори карактеризације повезани са осам виртуелних супстанци у простору емисије за емисију тла (Huijbregts et al., 2010)



Слика 5.26. Варијација токсиколошког фактора карактеризације виртуелне супстанце ED_{50} према Хенријевом закону за урбани ваздух, слатку воду и природно тло (Huijbregts et al., 2010)

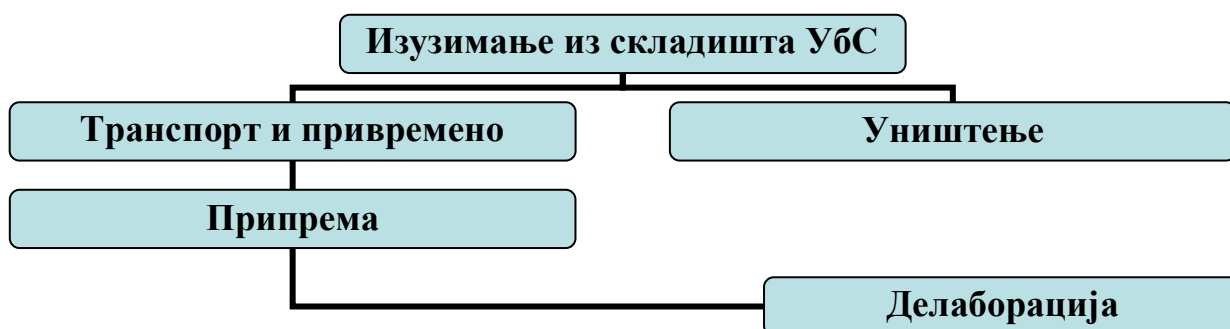
Резултати приказани на Слици 5.26. приказују да CFs емисију у ваздух веома зависи од k_H . Коefицијент k_H је у ствари коefицијент расподеле ваздух – вода који упућује на смер и брзину преноса супстанце за ваздух и воду (Mackay et al., 2006). Висока вредност коefицијента k_H указује да супстанца има тенденцију испаравања и задржавања у ваздуху. Ова констатација не важи за слатку воду. Ово указује на велики број вектора биоразградивости, што резултира нижим токсиколошким CF.

6. ЕКОЛОШКИ АСПЕКТИ ПРОЦЕСА ДЕМИЛИТАРИЗАЦИЈЕ И УНИШТАВАЊА УБОЈНИХ СРЕДСТАВА И НЕЕКСПЛОДИРАНИХ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА

Током последњих година јавио се велики проблем вишкова убојних средства (у даљем тексту: УБС), као последица рационализације и реорганизације као и истека ресурса, односно заосталих неексплодираних убојних средстава (у даљем тексту: НУС) на више локација у Србији. У дисертацији су разматране методе демилитаризације УБС, еколошки аспекти и токсични ефекти састојака УБС на здравље људи и животну средину. Разматрани су и начини за превазилажење и умањење ризика у процесу демилитаризације.

Процес демилитаризације подразумева превођење УБС у стање у којем неће имати функцију, у складу са сврхом и наменом. Након демилитаризације следи фаза уништавања експлозивних материја или превођење из једног облика и карактеристика у други. Уништавање УБС је у последњих десетак година ургентан проблем, јер се јавио огроман недостатак и потреба за складишним простором, а са друге стране временом се због одвијања физичко хемијских процеса повећава опасност и вероватноћа настанка нежељених акцидената који могу имати изразито негативне последице по околину и безбедност људи.

Уништавање се врши применом опште методологије демилитаризације и расположивих технологија, безбедносних фактора и наравно заштите животне средине и финансијских трошкова. Да би се адекватно приступило уништавању УБС потребно је извршити вишкритеријумску анализу улазних параметара са аспекта пиротехничке безбедности и еколошких ризика. Да би се постигао крајњи ефекат и циљ демилитаризације је максимални степен рециклаже и минимално стварање отпада. Приликом конструкције и производње УБС, основни циљ је остварити ефекат на циљу и постићи функцију пројектила у складу са наменом, при чему се врло мало или нимало није водило рачуна о начину демилитаризације на крају животног века.



Слика 6.1. Методологија процеса демилитаризације

6.1. Карактеристике УБС и локације на којима се могу наћи

Стање и микроклиматски услови су најважнији параметри у процени приоритетних УБС за уништење, узимајући у обзир вероватноћу нежељених ефеката приликом детонације. Као последица отказа функције на циљу, УБС могу бити у армираном или полуармираном положају, на површини земље, у земљи или води изложена атмосферским утицајима, представљају опасност, јер су небезбедна за употребу, транспорт и манипулацију. Поред наведеног треба извршити анализу локације на којем се налази УБС:

- погонима за производњу и ремонт УБС,
- погонима за производњу експлозивних материја и пиротехничких смеша,
- полигони за уништавање УБС,
- полигони за испитивање УБС,

- стрелишта,
- полигони за обуку и
- локације загађене НУС после ратних дејстава или обуке.

Карактеристични примери су експлозије у фабрикама наменске индустрије и ремонтним заводима у периоду од 2010. године до данас.

Војна стрелишта за гађање из стрељачког наоружања буду контаминирана металним зрнима од пројектила и чаурама од пуњења, док се на артиљеријским полигонима и полигонима за испитивање наоружања и војне опреме може наћи и количина експлозивних једињења у земљи и води, као што је тринитротолуен – TNT, хекспоген – RDX и октоген – HMX, којима су лаборисана УБС. Илустрације ефеката и могућих околности имамо следеће карактеристичне примере:

- потпуна детонација пројектила, бомбе, при чему се одбацују фрагменти кошуљице или облоге пројектила и муницијских компонената, као што су експлозиви, олово и други тешки метали у околину,
- непотпуна детонација при чему долази до разбацивања у околину, не само фрагмената и парчади од елемената и компонената већ и делова од подсклопова и склопова УБС и
- отказ функције, чиме се ствара опасна НУС, која могу бити неоштећена споља или ће бити оштећена чиме имају директан утицај на ослобађање експлозивних и хемисјких компоненти у животну околину.

Карактеристичан проблем загађења животне средине представља заостала НУС након НАТО бомбардовања која се налази на више локација под земљом или водом, на дубинама и преко 10 метара. У зависности од услова средине у којој се налази и материјала са којима може доћи у додир, реакције могу бити различите:

- олово азид у реакцији са бавром уз присуство влаге и CO_2 формирати бакар азид који је јако осетљив и нестабилан експлозив,
- амонијум нитрат уз присуство воде са челиком, алуминијумом или магнезијумом формира металне оксиде и
- тринитротолуен реагује са базама формирајући опасна и осетљива једињења.

Конструкционим решењем УБС су безбедна за манипулацију и транспорт, јер имају иницијални ланац активације у неармираном положају и само у условима лета и испалења се испуњавају услови за превођење из неармираног у армиран положај. Под утицајем атмосферских услова може доћи до деградације елемената, експлозивних материјала и нестабилности барута на основу чега УБС постају небезбедна и да се стварају услови за евентуалну самоиницијацију.

Највећи утицај на корозионе процесе који доприносе деградацији и старењу елемената НУС утичу бројни фактори од којих су најбитнији степен влажности тла, рН вредност или киселост тла, отпорност електрохемијски потенцијал количина кисеоника, присуство микроорганизама итд.

6.2. Методе уништавања убојних средстава

Развијене земље света примењују најекономичније, софистициране и еколошки прихватљиве методе и технике демилитаризације, односно уништавања УБС, док мање развијене и неразвијене најједноставније са неприхватљивом емисијом полутаната у животну средину. Методе уништавања се деле на три основне групе и то:

- класичне методе,
- допунске методе и
- експерименталне методе.

Табела 6.1. Методе уништавања и технолошки услови за примену (Mitchell et al., 1997)

Група припадања	Метода	Технолошки услови примене
Класичне методе	Детонација на отвореном простору	<ul style="list-style-type: none"> — нема услова за примену друге технологије; — транспорт и манипулација није могућа; — неприхватљив безбедносни ризик и уништавање је могуће без специјалне опреме.
	Спаљивање на отвореном простору	<ul style="list-style-type: none"> — нема услова за примену друге технологије; — ограничене количине УБС и високе концентрације полутаната који се јављају као продукти сагоревања.
	Затворено спаљивање	<ul style="list-style-type: none"> — велика количина муниције малих калибара; — велика количина погонских експлозивних материја и експлозива; — постоји могућност коришћења енергије и — велика количина металног и оловног отпада.
	Детонација у детонационој комори	<ul style="list-style-type: none"> — мали безбедносни ризик — ограничена количина УБС.
	Одлагање и складиштење УБС на отвореном простору	<ul style="list-style-type: none"> — утицај на животну средину — законска регулатива националног и међународног карактера.
Допунске методе	<p>Делаборација или растављање Механички третман Криогено дробљење Сепарационе технологије</p>	<ul style="list-style-type: none"> — могућност рециклирања и поновне употребе компонената и — процесе је могуће реализовати у фабрикама или специјализованим погонима.
Методе у развоју	<p>Хидротермичка оксидација Хемијска реакција Плазма-лучна пиролиза Електрохемијска оксидација Биодеградација</p>	<ul style="list-style-type: none"> — примењује се за опасне материје и високотоксичне енергетске материјале ради заштите животне средине и — неопходна је специјална опрема.

Табела 6.2. Параметри који утичу на избор методе уништавања (Mitchell et al., 1997)

Параметар	Објашњење
Физичко стање УБС	<ul style="list-style-type: none"> – приликом избора методе уништавања на отвореном је пресудни параметар у доношењу одлуке и – дефинише да ли је безбедна манипулација или транспорт или је обавезно уништавање на лицу места.
Количина УБС	<ul style="list-style-type: none"> – веће количине УБС повећавају ефикасност уништавања. У таквим околностима могућ је избор и примена више расположивих технологија.
Расположиви капацитети и ресурси	<ul style="list-style-type: none"> – само развијене земље поседују ефективне, ефикасне и еколошки чисте технологије које су безопасне по околину.
Законска регулатива	<ul style="list-style-type: none"> – законска регулатива и прорачун обавезних мера безбедности утиче на применљивост технике уништавања.
Технолошке операције	<ul style="list-style-type: none"> – поступак демилитаризације УБС се може реализовати путем механичког растављања и делаборације.

Најједноставнија и економски најприхватљивија метода уништавања је спаљивање и детонација на отвореном простору, али због еколошки неприхватљивих емисија у неким земљама су забрањене (Mitchell et al., 1997).

Еколошки прихватљиве алтернативне методе уништавања су спаљивање и детонација у детонационој комори. Приликом доношења одлуке морају се сагледати аспекти безбедности, логистичке подршке и економије, сагледавањем према следећим критеријума:

- 1. Технологија мора да обезбеди потпуну уништење муниције, експлозивних материја и пиротехничких компоненти,**
- 2. Емисија продуката не сме имати неприхватљиве последице на животну средину и мора обезбедити безбедност за људе и околину уз обавезну мерење стања емисије,**
- 3. Технологија мора бити економски оправдана са минималном потрошњом енергије и минималним отпадом,**
- 4. Комбинацијом технологија мора се обезбедити уништење више врста УБС и**
- 5. У случајевима када је небезбедна било каква манипулација и транспорт УБС, потребно је уништавање извршити безбедно на лицу места.**

Применом савремених технологија и конструкционих једињења могу се обезбедити безбедно, економично, једноставно и еколошки прихватљиво уништавање.

6.3. Хипотезе

На основу предмета и циља докторске дисертације, проистичу следеће научне хипотезе, као последица емисије експлозивне материје услед процеса сагоревања или детонације услед технолошких процеса рада или samozапалењем услед деградације елемената:

Хипотеза 1 (X1) Вредности нивоа концентрације продуката емисије су веће на отвореном него у затвореном простору,

Хипотеза 2 (X2) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије пропорционално опадају у односу на удаљеност од центра експлозије,*

Хипотеза 3 (X3) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије су пропорционални иницираној нето количини експлозивне материје,*

Хипотеза 4 (X4) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије су највеће у првих 60 минута од тренутка иницијације експлозивне материје,*

Хипотеза 5 (X5) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије, зависе од хемијског састава, масеног односа једињења, врсте, типа експлозивне материје,*

Хипотеза 6 (X6) *Прорачун вредности нивоа концентрације продуката и моделовање кључних фактора емисије продуката експлозивне материја, применом метода „ALPHA” и „ADORA”, не одступају од измерених вредности у лабораторијским или полигонским условима,*

Хипотеза 7 (X7) *Нема одступања у степену прецизности и тачности прорачуна и моделовања применом методе „ALPHA” или „ADORA”,*

Хипотеза 8 (X8) *Одступање прорачунате вредности нивоа продуката емисије је идентично за све анализиране продукте и не прелази 20% у односу на измерене вредности параметара емисије у лабораторијским и полигонским испитивањима,*

Хипотеза 9 (X9) *Зоне дисперзије продуката зависе од хемијског састава, врсте, типа, испоштованости максимално дозвољених нето количина по операцијама, испоштованости група опасности и компатибилности, растојања у технолошком процесу, међумагацинског растојања, заштитних насипа, типа објеката и микроклиматских услова у технолошким процесима рада, приручним магацинима или складиштима сировина, односно готових производа и*

Хипотеза 10 (X10) *Ниво оспособљености стручних лица запослених у Компанији „Слобода” а.д. Чачак из познавања експлозивних материја са аспекта емисије продуката у животну средину је у корелацији познавања превентивних мера и евентуалног корективног поступања у циљу смањења или неутралисања емисије продуката у животну средину у технолошким процесима рада или самозапаљења услед деградације елемената.*

6.4. Анализа утицаја на животну средину

Применом методе уништавања спаљивањем и детонацијом на отвореном простору, могу се јавити последице по животну средину због ослобађања тешких метала као што су: олово, антимоно и баријум, затим токсичних гасова у продуктима сагоревања, односно детонације и то: HCl, CO, NO, NO₂ и HCN, који загађују животну средину. Количина емисије продуката сагоревања и детонације варира у дијапазону од 30 до 45 mol/kg. Упоредивањем савремених метода са методом сагоревања и детонације на отвореном, утврђено је да емисија токсичних азотних оксида и угљен монооксида већа и до десет пута ([Handbook on the Management of Munitions Response Actions, 2005](#))

Сагледавајући све факторе утицаја не може се извести закључак да људство које живи близу места уништавања изложено повећаном ризику оболења од канцерогених болести и тровање тешким металима. Ризик по здравље и животну средину додатно утичу и састојци експлозивних материја и хемијски компоненти, укључујући олово, живу и остале примесе које настају приликом уништавања.

Мерење загађења ваздуха при различитим методама уништавања, приказани су у Табели 6.3., а у Табели 6.4. исти резултати су приказани преко NO₂ еквивалента емисије токсичних гасова ([Mitchell et al, 1997](#)). Вредности приказане у Табели 6.4. указују на то да ниједна метода не испуњава прописане стандарде Европске уније за заштиту животне средине, пре свега због емисије азотних гасова. Додавањем одређених примеса током процеса уништавања, као што је на пример уреа, приказано у колони бр. 6. могу се испунити услови стандарда.

Табела 6.3. Просечне количине продуката при уништавању експлозивних материја по килограму експлозивне материје, [g/kg] (Mader, 1998)

Продукти	Сагоревање на отвореном	Детонација на отвореном	Затворена детонација	Затворено спаљивање TNT	Затворено спаљивање TNT+ уреа
CO	2,46	34,04	0	1,26	2,30
NO _x	5,41	10,82	7,912	69,03	3,50
Ситне честице	56	26	1,3	0,208	0,056
Угљоводоници	0,03	0,18		0,1·10 ⁻³	0,06·10 ⁻³
SO ₂	- ^б			0,11·10 ⁻³	0,07·10 ⁻³
Hg				0,06·10 ⁻³	0,05·10 ⁻³
NH ₃				18,1·10 ⁻³	5,135
HCl	- ^б			3,9·10 ⁻³	4,8·10 ⁻³
HF				0,3·10 ⁻³	0,3·10 ⁻³
Тешки метали	- ^б			0,2·10 ⁻³	0,1·10 ⁻³
Диоксини				0,5·10 ⁻³	0,4·10 ⁻³

^а Резултати се односе на пентрит, TNT и тетрил

^б Зависи од састава

Табела 6.4. Емисија загађивача ваздуха изражена преко NO₂– еквивалента (Mader, 1998)

Методe уништавања	Емисија NO ₂ – еквивалента (g/kg) ^а
Сагоревање на отвореном	285
Детонација на отвореном	141
Затворена детонација	14
Затворено спаљивање	70
Затворено спаљивање + уреа	4

^аNO₂– еквивалент укључује емисију CO, NO₂ и честице отпада у чврстом стању

Приликом сагоревања ствара се и чврст отпад, који се састоји од остатка и пепела, одлагањем се може даље прерађивати коришћењем у производњи грађевинских материјала као што је цемент и асфалт. У развијеним земљама као што је Немачка и Холандија, чврсти отпад је класификован као опасан отпад због могућих примеса диоксида (Duijm, 2002). Честице и пепео могу да садрже полиароматске угљоводонике, па сагоревањем те материје се таложе у близини места уништавања. Неконтролисаним уништавањем без санације места, може се наталожити количина која утиче негативно на животну средину. Поређења ради, контролисано сагоревање и детонације, тј. процес који се одвија у затвореном простору до 100 пута мање загађује животну средину од уништавања на отвореном простору. Потпуно еколошки чист начин уништавања не постоји, али треба прибегавати методама са што мањим штетним утицајем на животну средину.

Експлозивне материје које се најчешће користе и производњи УБС, или су НУС производи производње, употребе или уништавања УБС, приказани су у Табели 6.5.

Табела 6.5. Примена експлозивних материја у убојним средствима (Anđelković-Lukić, 2009)

Једињења	Експлозивне материје	Иницијални елементи	Појачник	Експлозивно пуњење УБС	Пиротехнички елементи
TNT				✓	
RDX	✓		✓	✓	
HMX	✓		✓	✓	
Пентрит		✓	✓	✓	✓
Тетрил			✓		✓
Тетразен		✓			
DEGN	✓				
Нитроцелулоза	✓				
Динитротолуен	✓			✓	
Нитрогванадин	✓				
Амонијум нитрат	✓			✓	
Нитроглицерин	✓				
Олово азид		✓			
Олово стифнат		✓			
Живин фулминат		✓			✓
Бели фосфор					✓
Перхлорати	✓				

Напред наведене експлозивне материје представљају токсична једињења по здравље људи и животну средину. Карактеристичан пример утицаја је TNT као најзаступљенији у УБС и изузетно је канцероген за људски организам. Радници у производњи експлозива су изложени високим концентрацијама TNT у ваздуху на радном месту, због чега се јављају појаве тегоба разних телесних органа, имуног система и иритације коже. Експлозиви TNT и RDX и друга ароматична једињења се могу акумулирати у биљкама из контаминираног простора, апсорбовајући висок ниво концентрације експлозивне материје, а нарочито на зеленој салати, пасуљу и шаргареци. Потенцијални токсични ефекти на људско здравље најзаступљенијих експлозивних материја и хемијских једињења су приказани у Табели 6.6.

Табела 6.6. Потенцијални ефекти експлозивних материја на људски организам ([Handbook on the Management of Munitions Response Actions, 2005](#)).

Експлозивна материја	Хемијска формула	Потенцијални токсични ефекти на животну средину
TNT	2,4,6 - тринитротолуен $C_7H_5N_3O_6$	Изазива тумор јетре, иритацију коже и катаракту.
RDX	1,3,5- тринитро-2,4,6 – триазациклохексан	Изазива проблем простате, нервног система, мучнину и повраћање.
HMX	1,3,5,7 - тетранитро-2,4,6,8 - тетраазациклооктан	Изазива оштећење јетре и централног нервног система.
Пентрит	Пентаеритритол тетранитрат $C_6H_8N_4O_{12}$	Изазива иритацију очију и коже, слабост и низак крвни притисак.
Тетрил	2,4,6 - тринитротолуен $C_7H_5N_3O_6$	Изазива кашаљ, замор, главобољу, иритацију очију, губитак апетита, крварење из носа, мучнину и повраћање.
Тетразен	$C_2H_6N_{10}$	Изазива астму, иритацију, грчење, срчане аритмије, едем плућа и смрт.
DEGN	Диетиленгликол динитрат $(C_2H_4NO_3)_2O$	Изазива болест бубрега, мучнину и несвестицу.
Динитротолуен	$C_7H_7N_2O_4$	Изазива анемију, леукемију, некрозу јетре, несвестицу, слабост, мучнину, повраћање и несаницу, дрхтавицу, парализу, отежано дисање, лупање срца, анорексију, и губитак телесне тежине.
Дифениламин	N,N-дифениламин $C_{11}H_{11}N$	Изазива иритацију слузокоже очију.
Амонијум нитрат	NH_4NO_3	Изазива пад крвног притиска, зујање у ушима са главобољом.
Нитроглицерин (Глицерол тринитрат)	$C_3H_5N_3O_9$	Изазива иритацију очију, пад крвног притиска, главобоља и колапс.
Олово азид	N_6Pb	Изазива главобољу, раздражљивост, губитак памћења, поремећај сна, оштећење мозга, бубрега и анемију.
Олово стифнат	$PbC_6HN_3O_8 \cdot H_2O$	Изазива слом нервог система, пад имунолошког система и болест бубрега, мишића у зглобовима, слабост, висок крвни притисак, губитак апетита.
Живин фулминат	$Hg(OCN)_2$	Изазива коњуكتивитис, дрхтавицу, отицање делова тела, губитак косе, грчеви у стомаку, пролив и крварења, гастроинтестиналног тракта и слабости бубрега.
Бели фосфор	P_4	Изазива репродуктивну неспособност, оштећење јетре, срца, бубрега, смрт, кожне опекотине, иритације грла и плућа, повраћање и грчеви у стомаку.
Перхлорати	ClO_4^-	Изазива свраб и бол, гастроентеритис и бол у стомаку, мучнину, повраћање, дијареју, повишен крвни притисак, замагљен вид и поремећај штитасте жлезде.

У Табели 6.7. су на основу литерарних података сумирани су токсични и негативни ефекти на заштиту животне средине и испитивањем на дивљим животињама.

Табела 6.7. Потенцијални ефекти експлозивних материја ([Handbook on the Management of Munitions Response Actions, 2005](#)).

Експлозивна материја	Потенцијални токсични ефекти на животну средину
TNT	Биљне културе апсорбују експлозив из загашеног земљишта. Мушка популација животиња третирана великим дозама TNT-а имају репродуктивне проблеме и појаву акутних болести као што су: атаксија, премор и благе конфузије.
RDX	Контаминирано земљиште експлозивом може угрозити дивље животиње, односно биљоједу.
HMX	Није утврђено да експлозив има негативне утицаје по биљне и животињске врсте.
Пентрит	Утицај експлозива на основу утврђених референтних токсичних вредности се огледа у губитку тежине, крвном притиску и болести дисајних органа.
Тетрил	Утврђено је да негативан утицај токсичности код животињских врста из породице сисара.
2,4 - Динитротолуен	Преноси се путем корена биљке из контаминираног земљишта или воде. Испитивања код животиња су резултирала да одређене концентрације могу да изазову смрт. Болести се манифестују смањењем црвених крвних зрнаца, оштећење нервног система јетре као и тумор јетре и бубрега.
N-нитрозодифениламин	Болести се јављају код животињских врста и манифестују се отицањем, појавом тумора мокраћне бешике, као и смањењем телесне масе.
Нитроглицерин (Глицерол тринитрат)	Ефекти на сисарима животињског порекла су кардиоваскуларне сметње, смањење телесне масе, оштећење јетре, крви и репродуктивних органа.
Бели фосфор	Бели фосфор је изузетно канцероген по биљни и животињски свет.

При уништавању УБС ослобађају се тешки метали и токсични гасови који загађују животну средину. Најнеповољнија и најнеприхватљивија метода демилитаризације је метода спаљивања и детонације на отвореном простору. Уколико постоји могућност алтернативног уништавања увек треба прибегавати методама која су еколошки прихватљива, без обзира на финансијске трошкове.

6.5. Утицај технологије производње и синтезе експлозивних материја и убојних средстава

У процесу производње највећи утицај на животну средину се остварују синтезом експлозивних материја.

У Табели 6.8. биће приказани технологије и продукти који утичу на загађење ваздуха.

Табела 6.8. Технологија и производи загађења (Еколошки ризици одбрамбене индустрије Републике Србије, 2007/2008)

Ред. бр.	Технологија загађења	Продукти загађења ваздуха
1.	Синтеза живиног фулмината, олово азида, оловотетрарезорцината и тетразена	Нитрозни гасови
2.	Синтеза тротила, хексогена, октогена и пентрита	Нитрозни гасови
3.	Синтеза нитроцелулозе	Нитрозни гасови

6.6. Демилитаризација убојних средстава

Убојна средства која су: застарела, заостала као неактивирана, проглашена вишком, претрпела удесе ли механичка оштећења или су са истеклим животним циклусом престављају висок ризик и озбиљан проблем система у држави. Проблеми који проистичу су опасни и захтевају хитно поступање, услед евентуално нежељених последица које могу бити проузроковане активирањем. Да би се проблем превазишао мора постојати ефикасан систем управљања залихама убојних средстава, који препознаје потребе система одбране и у складу са њима дефинише приоритета, врсту и обим радова и активности, ради ефикасног и сврсисходног превазилажења проблема.

Активности које се реализују у сврху неутрализације својства убојног средства, без могућности повратка разорне и убојне моћи, чини подсистем у систему одржавања убојних средстава који се назива демилитаризација. Поред наведеног превазилажења проблема, спровођењем ефикасне демилитаризације, одређене земље и оружане снаге, потразумевају демилитаризацијом и продају убојних средстава другој држави, јер се на тај начин ослобађа убојним средствима која нису перспективна и није безбедна за складиштење и употребу. Сагледавајући аспекте појаве демилитаризације почев са почетка 60-тих година прошлог века до дана данашњег, према природи активности у циљу демилитаризације се деле у две групе:

- војна демилитаризација и
- индустријска демилитаризација.

Војна демилитаризација је нарочито била изражена у моћним и високоразвијеним државама света које нису имале никава ограничења у спровођењу демилитаризације, па су се активности реализовале следећим методама:

- уништавање убојних средстава у изворном стању, отвореном детонацијом или отвореним спаивањем,
- уништавање убојних средстава одлагањем, односно, „потапањем” у море и
- уништавање убојних средстава одлагањем, односно „закопавањем” у дубини земље.

Уништавање убојних средстава на отвореном простору, нарочито када су у питању велике нето количине експлозива, захтева уређене и наменске полигону, који су удаљени од насељених места и инфраструктурних објеката, како би се целодневно у више наврата изводиле детонације, без последица по људе.



Слика 6.2. Уништавање пројектила великог калибра и нето количине експлозива на отвореном простору, ([Catalogue for Mobile Equipment for Ammunition Demilitarization, NSPA, 2012](#))

Удаљени полигону обезбеђују услове за елиминацију ефеката буке и ударних таласа, али не обезбеђују елиминисање негативног утицаја на животну средину, нарочито контаминацију на месту експлозије.



Слика 6.3. Уништавање убојних средстава на отвореном простору и ефекат на животну средину ([Best Practice Guide on the Destruction of Conventional Ammunition, skripta, 2008](#))

Индустријска демилитаризација је настала када су се количине убојних средстава достигле енормне количине које није било могуће демилитаризовати класичним методама и капацитетима већ су захтевале успостављање технолошких линија у те сврхе. Методологију примене индустријске демилитаризације, диктирао је технолошки развој државе, усвојене и освојене технологије делаборације и претварања

експлозивне амбалаже и кошулица у секундарне сировине. Развој технологија је диригова законска регулатива о заштити животне средине и емисији штетних продуката.

6.7. Уништавање убојних средстава

Уништавање убојних средстава или експлозивних материјала подразумева процесе којима се доводе у стање које је безбедно и сигурно по животну средину.

Метода спаљивања на отвореном простору се примењује за уништавање иницијалних и иницијално-детонаторских елемената који настају као резултат процеса делаборације убојних средстава. Ова методологија се користе за сагоревање експлозивних материја које релативно мирно сагоревају на отвореном простору без детонације.

Неке експлозивне материје је могуће спалити почетном енергијом, јер се процес даљег сагоревања одвија без спољашњег извора, док за неке експлозивне материје није довољна ослобођена топлота, већ је потребна додатан извор енергије да би се реакција спровела у потпуности. Наведеним поступком се могу спаљивати: каписле, основна барутна пуњења, упалачи са или без детонатора и стрељачка муниција. Иницијални експлозиви се не могу уништавати спаљивањем, осим у случајевима диригованог овлаживања, јер на повишеној температури процес сагоревања релази у детонацију. Исто правило важи и за детонаторске каписле. Топовске каписле се уништавају спаљивањем иако у свом саставу имају иницијалну капислу која у процесу спаљивања детонира, али појединачно и заједно са сагоревањем појачника пламена. Идентично правило важи и за стрељачку муницију, јер се иницијалне каписле спаљују заједно са барутним пуњењем и тако појединачно сагоре, односно детонирају.

Бризантни или секундарни експлозиви се могу спаљивати, али у ограниченим количинама, док се црни барут због велике брзине и наглог сагоревања не сме спаљивати.

Поступак спаљивања се може изводити:

- *отвореном простору*, посебно пројектованом и уређеном полигону за ту намену и
- *затвореном простору*, пећима посебно дизајнираним за спаљивање експлозивних материја и муницијских елемената.

У оба случаја мора постојати технолошки поступак који се мора поштовати у потпуности да не би дошло до нежељених последица. Основни параметри који морају бити испоштовани су нет количина експлозивне материје које се једновремено спаљује и мере безбедности које се морају испоштовати при извођењу спаљивања. Дозвољена количина експлозивне материје се одређује у еквиваленту укупне масе експлозивне материје која се може једновремено спаљивати. Поред наведеног мора се испоштовати правило да се на отвореном простору не смеју спаљивати експлозивне материје и убојна средства у разним облицима да не би дошло до разлетања и нарушавања безбедности животне средине.

У следећим табалама биће приказане дозвољене количине експлозивних материја за уништавање методом спаљивања на отвореном простору.

Табела 6.9. Дозвољене количине малодимних барута за спаљивање једновремено (*Uništavanje municije, minsko-eksplozivnih sredstava i drugih eksplozivnih materijala, 1980*)

Ред. бр.	Врсте малодимних барута по намени	Количина за једновремено спаљивање [kg]
1.	Барут за артиљеријску муницију	до 1000
2.	Барут за стрељачку и минобацачку муницију	до 500
3.	Барут за ракетне пројектиле и ручне ракетне бацаче	до 500
4.	Барут за пиштољску муницију за аутомате и барут за маневарску муницију	до 150

Табела 6.10. Дозвољене количине бризантних и привредних експлозива за спаљивање једновремено (Uništavanje municije, minsko-eksplozivnih sredstava i drugih eksplozivnih materijala, 1980)

Ред. бр.	Врсте бризантних и рударских експлозива	Количина за једновремено спаљивање [kg]
1.	Тротил (TNT) и мешавина на бази тротила чије учешће није мање од 50%	200
2.	Пентрит чист или флегматизован	50
3.	Експлозиви (пентрит, хексоген, тетрил и нитроглицерин) са тротилом чије је учешће мање од 50 %	100
4.	Експлозиви у детонирајућим штапинима	100
5.	Рударски експлозиви на бази амонијумове шалитре	200
6.	Рударски експлозиви на бази нитроглицерина, без обзира на проценат учешћа	50
7.	Тетрил и хексоген са или без флегматизатора	50
8.	Све врсте пластичних експлозива, без обзира која је главна компонента, а која је пластификатор или флегматизатор	50

Табела 6.11. Дозвољене количине стрељачке муниције и елемената убојних средстава за спаљивање једновремено у казанима (Uništavanje municije, minsko-eksplozivnih sredstava i drugih eksplozivnih materijala, 1980)

Ред. бр.	Врсте малодимних барута по намени	Количина за једновремено спаљивање [kg]	Укупан број метака, односно барутних пуњења
1.	7,62 mm метак за пиштоље и аутомате – обично зрно	0,5	30.000
2.	7,62 mm метак за све врсте пиштоља	0,2	75.000
3.	7,9 mm метак падобрански	1,57	9.500
4.	9 mm метак за пиштоље „Parabelum”	0,38	40.000
5.	9 mm метак за пиштоље „Vereta”	0,35	43.000
6.	11,43 mm метак са обичним зрном	0,32	47.000
7.	7,62 mm метак за полуаутоматску пушку са зрном М67	1,6	9.400
8.	7,62 mm метак за митраљезе „Browning” са обичним зрном	3,2	4.700
9.	7,62 mm метак за пушкомитраљезе (s) ремонтван са обичним зрном	3,3	4.300
10.	12,7 mm метак са обичним зрном (a)	15,0	1.000
11.	12,7 mm метак са панцирно запаљивим зрном (s)	19,0	500
12.	14,5 mm метак са панцирно запаљивим зрном (s)	31,0	500
13.	основно барутно пуњење за тромблонске мине	2,33	6.500
14.	основно барутно пуњење за мине 60 mm	3,20	4.700
15.	основно барутно пуњење за мине 80 mm	7,2	2.000
16.	основно барутно пуњење за мине 120 mm	35,0	430



Слика 6.4. Спаљивање елемената убојних средстава у кацама (Milosavljević, 2012)

Метода детонације или детонације у маси подразумева поступак уништавања, груписањем експлозивних материја или убојних средстава и њихово активирање експлозивним метком или детонаторском капислом. Постоје два поступка уништавања:

- уништавање детонацијом на отвореном простору у фугаси и
- уништавање детонацијом у детонационој комори.

Формирање фугасе подразумева претходно чишћење терена од траве, камења, сувог растиња или других елемената који могу да изазову пожар или парчадно дејство услед детонације. Фугаса представља јаму која може бити различитих димензија, односно запремине, што зависи од количине експлозивне материје или убојних средстава које треба уништити. Количина експлозивних материја или убојних средстава која се може уништити, ограничена је количином чистог експлозива у материјалу за уништење. Максимална дозвољена количина је највише 60 kg нето количине експлозива по једној фугаси. За нето количину експлозива од 60 kg, дубина фугаси износи од 80 до 100 cm, док се ширина и дужина фугасе прилагођавају експлозивном материјалу на тај начин да се обезбедити што мање слободног простора са стране, без обзира што се фугаса покрива слојем земље.



Слика 6.5. Уништавање убојних средстава детонацијом у фугаси (Milosavljević, 2012)

При формирању и изради фугасе мора се обезбедити да се покрије свом количином ископане земље, чиме се обезбеђује да се детонација више усмери према дну фугасе, чиме се обезбеђује сигурност да не дође до разлетања парчади и да интензитет ударног таласа буде мањи. У фугасу се слаже експлозивни материјал и убојна средства различитог нивоа осетљивости, што утиче на редослед слагања. Каменито тло се не сме користити за израду фугаси, јер је немогуће обезбедити мере безбедности од разлетања камења услед детонације. На претходној Слици 6.5. приказан је пример исправног слагања убојних средстава за уништавање у фугаси. На дну су постављене ручне бомбе и протипешадијске мине, јер су склона разлетању, а са стране надкалибарна кумулативна мина која лако прихвата детнацију, због танког зида кошуљице, односно облоге. Унутар средишта фугасе налазе се минобацачке мине, непосредно испод експлозивног метка, које су унакрсно сложене, јер теже прихватају детонацију. Број фугаса које се могу припаљивати једновремено зависи од више фактора:

- *нето количине експлозивног материјала који је потребно уништити,*
- *временских околности,*
- *времена које је потребно за паљење једне фугасе, путем спорогорећег итапина или електричног капислом и*
- *броја људи које је могуће ангажовати.*

Једновремено се може припалити максимално шест фугаса, са међусобним раздаљином не мањом од 10 нити већом од 20 метара. Мања удаљеност од прописане може довести до поремећаја припалних елемената суседних фугаса услед простирања детонационог таласа, а већа удаљеност може довести до потешкоћа у припреми, смањује могућност контроле, чиме се нарушава безбедност.

Након формирања фугаса дебљина слоја земље изнад фугасе износи од 0,6 до 0,8 метара, уз могућност стављања комплетне количине ископане земље.

Уништавање експлозивних материја и убојних средстава представља ризик по животну средина са два аспекта. Један је продукти сагоревања и детонације који доспевају у атмосферу, а други је pepeo или

талог који остаје на земљи или се таложи у земљиште, односно подземне воде. Предмет ове дисертације је студија емисија продуката у атмосферу. У Табели 6.12. приказани су еколошки ризици приликом уништавања експлозивних материја у току производног процеса.

Табела 6.12. Еколошки ризици приликом уништавања у току производног процеса и на крају животног циклуса, уништавањем на полигонима (Еколошки ризици одбрамбене индустрије Републике Србије, 2007/2008)

Ред. бр.	Врста отпада	Продукти сагоревања	Загађивачи ваздуха
У току производног процеса			
1.	Чврсти остатак од наливања тротила и смеша тротила са кристалним хексогеном	Азот Азотни оксиди Угљеник (чврст) Угљен моноксид	Азотни оксиди Угљен моноксид Угљен диоксид Амонијак Цијановодоник Хлор Хлороводоник Флуороводоник
2.	Талог кристалних експлозива – хексогена, октогена, пентрита из таложника	Вода (пара) Вода (течност) Амонијак Цијановодоник Циклични угљоводоници	
3.	Чврсти отпад од композитних ракетних горива	Азот Азотни оксиди Угљеник (чврст) Угљен моноксид Угљен диоксид Амонијак	
4.	Чврсти отпад од разних врста барута	Хлороводонична киселина Хлор Хлороводоник Флуороводоник Флуорни радикали Оксиди метала (живе, бабра, олова, гвожђа и хрома)	
На крају животног циклуса на полигонима за уништавање			
1.	Барути и композитна ракетна горива		Угљен моноксид Угљен диоксид Хлор Хлороводоник Азотни оксиди Цијановодоник Амонијак Флуорни радикали Олово оксид Живин оксид
2.	Експлозивна пуњења од ливеног тротила и смеша са хексогеном и алуминијумом		Угљен моноксид Угљен диоксид Азотни оксиди Циклични угљоводоници Цијановодоник Чађ Амонијум оксид
3.	Бели фосфор и магнезијум		Фосфор пероксид Магнезијум оксид

Ред. бр.	Врста отпада	Продукти сагоревања	Загађивачи ваздуха
4.	Црни барут		Азот Сумпорни оксиди Азотни оксиди Угљен моноксид Угљен диоксид Калијум сулфид Калијум сулфат Калијум карбонат

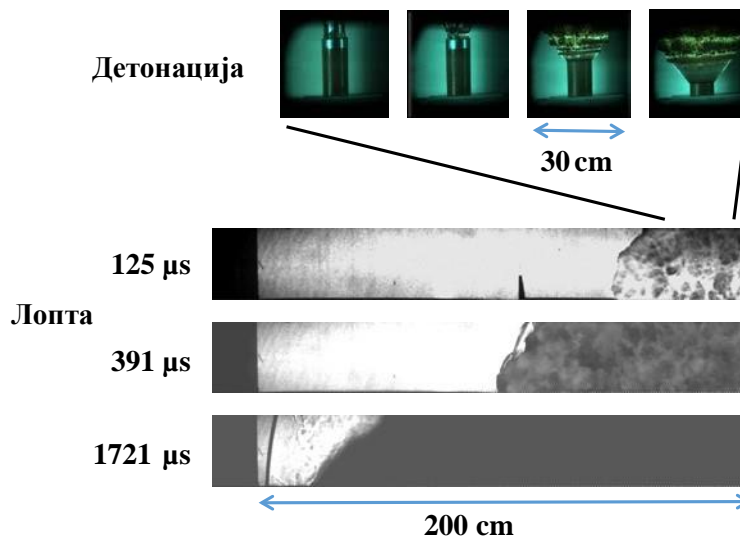
По структури технологије и функције производни погони се могу сврстати у три категорије:

- погони базне хемије који користе основну хемијско-технолошку синтезу за производњу сирових, запаљивих и осталих материја,
- погони који користе полуфабрикате експлозивних и запаљивих материја и
- погони који врше разградњу, декомпозицију и уништавање експлозивних и запаљивих материјала или проверу њихове експлозивне или запаљиве употребе.

7. ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКИ ПРОЦЕСИ ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА

7.1. Детонације чврстих хемијских експлозива

Предвиђање емисије при отвореној детонацији (ОД) чисти експлозивни који у свом саставу имају метале се заснива на ослобађању енергије током временског интервала. Многи истраживачи су проучавали експлозиве у претходном периоду од 150 година (Mader, 2008), ипак због велике брзине ослобађања енергије, многи аспекти процеса остали су неистражени. Ослобађање енергије након иницирања може се предвидети по фазама, (McNesby et al., 2010). Прва фаза ослобађања енергије укључује детонацију чврстог експлозива, у којој се егзотермна хемијска реакција одвија стварајући надпритисак анаеробно ширење продуката експлозивне реакције (Kinney i Graham, 1985). Друга фаза ослобађања енергије када производи прве фазе сагоревају у присуству атмосферског ваздуха, назива се накнадно сагоревање, или формирање ватрене лопте. Снага друге фазе зависи од продуката који су настали у првој фази. Снага у свакој фази зависи од почетног односа састава експлозивне материје, уз напомену да је прва фаза ослобађања енергије у већини чврстих експлозива увек снажнија од друге фазе, (Kim i Kim, 2004). На Слици 7.1. је скуп слика које илуструју ослобађање енергије након иницирања 2,2 kg чврстог тринитротолуена (у даљем тексту: TNT). Појава је снимљена са ултрабрзом камером. У чврстом TNT -у, брзина одвијања детонације је приближно $7 \text{ mm}/\mu\text{s}$. У првој фази и епицентру ударног таласа, реагујући TNT има густину нешто већу од слободно насутог ($1,7 \text{ g}/\text{cm}^3$), са температуром у епицентру близу 3300 K , и притиском близу 20 GPa . У другој фази, брзина радијалног ширења ватрене лопте је директно пропорционална функцији протеклог времена, од $7 \text{ mm}/\mu\text{s}$ у почетној фази до звучне брзине ($0,35 \text{ mm}/\mu\text{s}$) у завршној фази.



Слика 7.1. Композитна секвенца слика (два различита експеримента) која приказује фазе енергије ослобађања након иницирања 2,2 kg чврстог експлозива TNT. Може се видети ваздушни удар одвајање од врсте производа детонације на последње две слике (Appel et al., 2000)

На Слици 7.1. илустрована је завршна фаза детонације, производ детонације су гасови који су врући, густе и теже да се шире. Приликом ширења гасова који се хладе, настају и реакције између почетних продуката детонације, који имају способност да достигну равнотежнисастав на свим температурама. Хемија реакције у почетној фази се одвијају у анаеробним условима. Даљи процес хлађења и ширења гасова доводи до крајњег ефекта и стања гасова који је константан. Тренутак потпуног хлађења продуката се сматра првом фазом ослобађања енергије.

Врући гасови фиксног састава који настављају да се шире, мешају се са атмосферским ваздухом и ако имају довољан проценат горива и довољно температуру, они формирају ватрену лопту. Предвиђање коначних производа детонације, односно експлозије се заснива на повезивању две фазе уз ослобађања енергије који су описане у претходном делу рада. Применом равнотежних хемијских прорачуна за

предвиђање анаеробне детонације у првој фази, следи софтвер „СНЕМКИН” за израчунавање потребне количине ваздуха за сагоревање ових продуката детонације у другој фази. Почетне врсте продуката које настају током детонације и анаеробног ширења, узимајући у обзир количину, густину и температуру се предвиђају симулацијом равнотеже помоћу компјутерски софтвера „СНЕЕТАН”. Код експлозивних материја, односно енергетских материјала, овакве појаве се дешавају при остваривању температуре од 1800 К.

Након анаеробне фазе наступа другофазаослобађањаенергије или аеробносагоревање, за које је најбоље применити софтвер „СНЕМКИН” формулу за предвиђање емисије, који производи предузеће „*Reaction Design, Inc*”. Приликом коришћења алгоритма за примену „СНЕМКИН” формуле, потребно је имати валидне податке о почетној температури и притиску, врсти и типу сагоревања, врсте и типове енергетских материјала и брзине реакционих механизма. У раду су описане хемијске врсте које се користе у уносу за „СНЕМКИН” су оне које је предвидео „СНЕЕТАН” када се врсте замрзну. Механизам реакције је заснован на GRI-mech кинетичкој бази података која је објашњена у раду и допуњен је механизмима хемијског сагоревања који се налазе у Приручнику за експлозиве националне лабораторије у Лавренци, (*National Laboratory, Lawrence Livermore - LLNL*), (*Appel et al., 2000*) и објављеним радовима. Најефективније и најпрецизније предвиђање се добија увођењем динамичког тока, турбуленције и вишефазног сагоревања.

7.2. Материјали

Тестиране су две врсте детонабилних чврстих хемијских експлозива:

- TNT и
- TNT са Mg:В и адитивима, у масеном односу 80:4:16.

TNT је одабран јер је експлозив који има негативни баланс кисеоника. На крају прве фазе ослобађања енергије као што је описано претходно се експлозивни производи састоје од приближно 30% молске фракције графитног угљеника (LLNL, 2010.). Као додаток изабран је метални адитив Mg:В, јер се састоји од метала (Mg) за које се зна да брзо реагује са експлозивима и полуметал (В) за који је познато да делимично реагује у експлозивним формулацијама. У Табели 7.1. је приказан састав за сваку експлозивну материју, искључујући детонатор RP-80. Детонатор RP-80 (Teledyne-RISI) је експлодирајући уређај за мостове и користи 80 mg PETN-а, као иницијатор и 123 mg 1,3,5-тринитро-1,3,5-триазинана (RDX) као преносник. Према декларацији произвођача, не садржи олово азид.

Табела 7.1. Композиција детонације у маси по пуњењу (*Smith et al., 2004*)

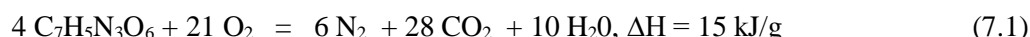
Предмет испитивања	TNT g/пуњење	TNT:Mg:Вg/ g пуњења
TNT	640	565
Уређај за центрирање од РММА	18,9	18,9
Пентолит	5	6
Композиција В		
TNT	67	67
RDX	103	103
Восак	17	17
В	НП	70,5
Mg	НП	70,5

НП – није применљиво

7.3. Резултати

7.3.1. Предвиђање врсте производа детонације „TNT – СНЕЕТАН”

За израчунавање производа TNT-а детонацијом, односно експлозијом користе се софтвери „СНЕЕТАН” и „СНЕМКИН”, ради предвиђања фаза ослобађања енергије, као што је приказано у Табели 7.2. Применом модела „СНЕЕТАН” за предвиђање прве фазе ослобађања енергије TNT-а, односно детонације и модела „СНЕМКИН” за предвиђање емисије друге фазе, односно формирања ватрене лопте. Коришћењем апликације „СНЕЕТАН” може се предвидети композиција, густина и температура почетних производа детонације пре експанзије, укључујући анаеробно ширење детонације продуката гасова. Апликација „СНЕЕТАН”, даје могућност предвиђања састава хемијских врста произведених када TNT детонира, продуката детонације који се шире и продуката детонације који сагоревају у вишку атмосферског ваздуха. Једначина равнотежне хемијска једначина потпуне детонације и сагоревања TNT-а са атмосферским ваздухом у вишку је:



У Табели 7.2. су приказане предвиђене еволуције најзаступљенијих, 99,9% продуката детонације у чврстом и гасовитом агрегатном стању за TNT-а.

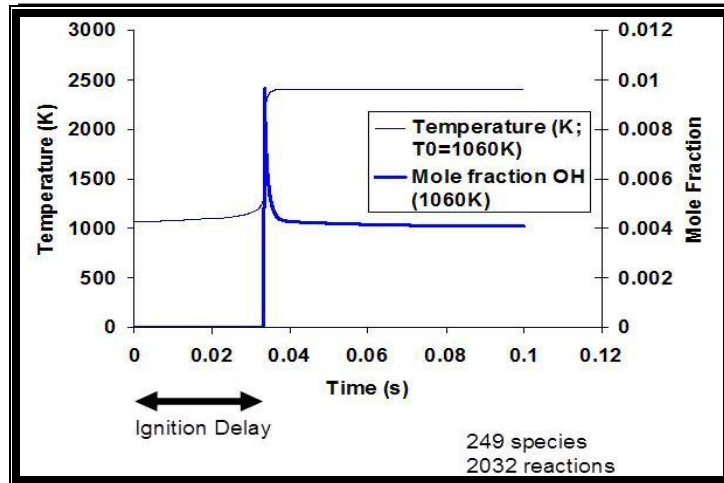
Табела 7.2. Производи детонације за TNT у различитим фазама ослобађања енергије, како је предвиђено од софтвера „СНЕЕТАН” – а (Cooper, 1996)

Chapman - Jouguet С-Ј тачка, [3,240 К, 20 GPa]		Замрзнуто стање [1,800 К, 1 atm]		Потпуно сагоревање	
Врста	Молска фракција	Врста	Молска фракција	Врста	Молска фракција
C(gr ^a)	0.4311	CO	0.2578	CO ₂	0.636
H ₂ O	0.1827	C (gr ^a)	0.2575	H ₂ O	0.227
CO ₂	0.1516	N ₂	0.1549	N ₂	0.136
N ₂	0.1036	CO ₂	0.1426	-	-
CHNO	0.07937	H ₂ O	0.08459	-	-
CO	0.03361	CH ₄	0.06878	-	-
NH ₃	0.01306	H ₂	0.02635	-	-
CH ₄	0.001841	NH ₃	0.003647	-	-
H ₂	0.001748	C ₂ H ₆	0.001561	-	-
C ₂ H ₄	0.0005828	C ₂ H ₄	0.001193	-	-
CH ₃ OH	0.0003933	CHNO	0.0007385	-	-
NO	0.00008430	CH ₂ O ₂	0.00009456	-	-
C ₂ H ₆	0.00008216	CH ₃ OH	0.00007871	-	-
CH ₂ O ₂	0.00007333	HCN	0.00007650	-	-
H	0.00001951	C ₂ H ₂	0.00004298	-	-

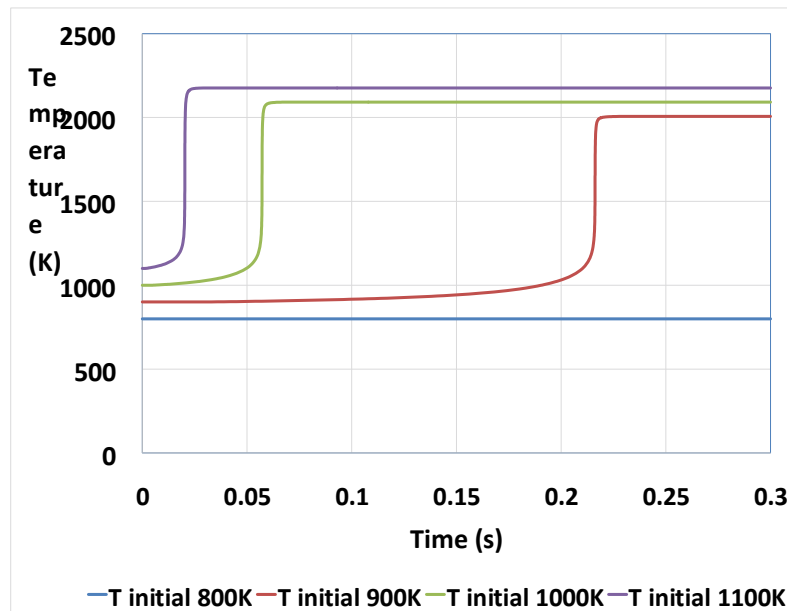
Напомена: CHNO = изоцијанска киселина, C₂H₄ = етилен, CH₃OH = метанол, CH₂O₂ – мравља киселина, gr^a - графит

7.3.2. Укључивање хемијске кинетике коначне брзине за накнадно сагоревање TNT-а – „СНЕМКИН”

На сликама 7.2. и 7.3. приказане су температурне зависности зависност за почетак накнадног сагоревања, или ватрена лопта. На температурама које су ниже вредности од 900 К не долази до накнадног сагоревања. У овом случају, врсте присутне након детонације су идентичне као оне предвиђене апликацијом „СНЕЕТАН” при замрзавању.



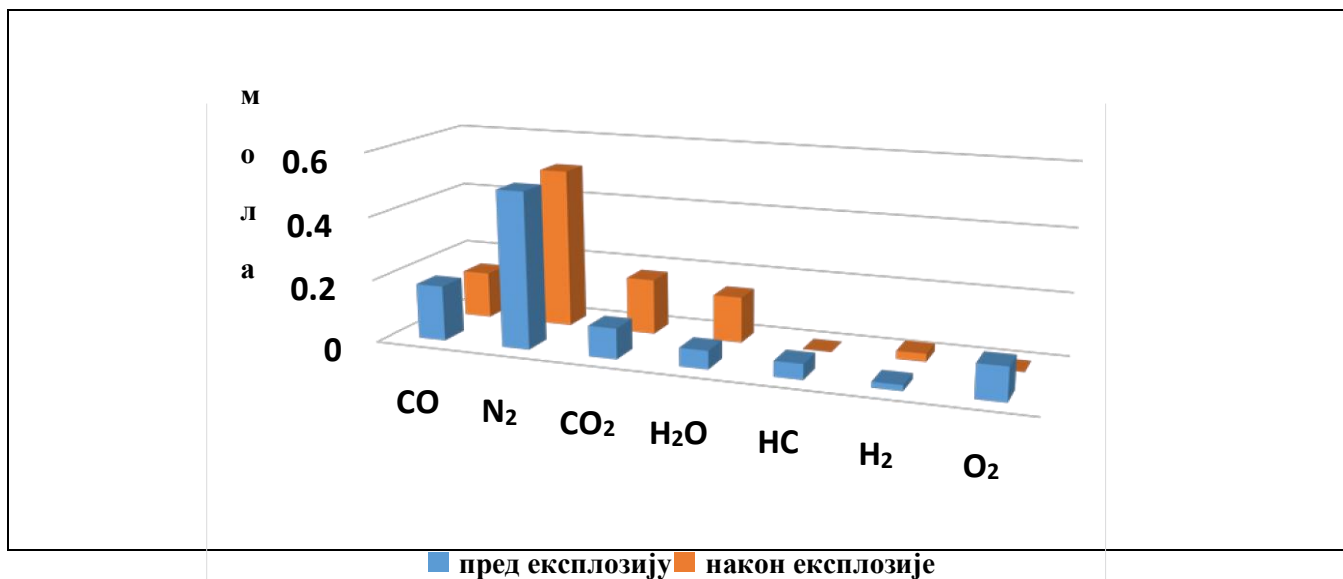
Слика 7.2. Прорачун и график у софтверу „СНЕМКИН” за почетак формирања ватрене лопте за производе детонације TNT-а, при коришћењу реакционог механизма мешања са ваздухом у запреминско односу 1:1, (Cooper, 1996)



Слика 7.3. Температуна зависност почетка сагоревања за производе детонације TNT-а, у реакционом запреминском односу 1:1 (Cooper, 1996)

7.3.3. Предвиђање сагоревања продуката детонације TNT-а, путем апликације СНЕМКИН

Модел хомогене реакционе посуде коју користимо у софтверу „СНЕМКИН”-у не укључује расипање топлоте. Ако је почетна температура довољно висока, гасна фаза реакција се наставља све док се један или више реактаната не потроши. На Слици 7.4. приказана је графички трака најчешћих врста гасне фазе које је „СНЕМКИН” предвидео пре и после накнадног сагоревања (ватрене лопте) продуката детонације TNT-а у мешавини 1:1 са ваздухом. Сагоревање које се дешава у „настајућој” ватреној кугли (симулација почетка друге фазе ослобађања енергије) даље оксидира CO и угљоводоник у CO₂ и H₂O. У овом случају (мешавина у односу 1:1), реактант који ограничава трајање накнадног сагоревања је кисеоник из амбијенталног ваздуха.



Слика 7.4. Резултати „СHEМКИН” прорачуна у запреминском односу 1:1 продуката детонације TNT и ваздуха (Cooper, 1996)

7.3.4. Предвиђени фактори емисије за TNT детонације

Да би се грешка свела на минимум неопходно је поређење фактора емисије, израчунатих помоћу апликација „СHEETAH”-а и „СHEMKIN”-а за продукте детонације, односно експлозије TNT-а. У Табели 7.3. приказани су продукти детонације TNT-а, у односу 100:1, ваздух према емисионом фактору је веома сличан фактору емисије пуног сагоревања.

Табела 7.3. Предвиђени емисиони фактори за експлозије чистог TNT –а, грам емитованих врста по граму TNT (Cooper, 1996)

Врста	„СHEETAH”	„СHEMKIN” 1:1 ваздух	„СHEMKIN” 100:1 ваздух	Потпуно сагоревање
C-graphite	0.13	0.13	0.13	-
CO	0.304	0.255	0.005	-
N ₂	0.182	0.184	0.184	0.184
CO ₂	0.264	0.476	1.17	1.36
H ₂ O	0.064	0.162	0.172	0.176
CH ₄	0.0464	у траговима	у траговима	-
H ₂	0.00224	0.00311	у траговима	-

7.3.5. Предвиђање врсте производа детонације TNT:V:Mg – „СHEETAH”

Производи детонације TNT-а и Композиције TNT:Mg:V, у односу 80%:4%:16% по тежини, користи се за детонацију, односно експлозију у апликацијама „СHEETAH” и „СHEMKIN” за фазе ослобађања енергије, Слика 7.3. су излазни подаци из апликације „СHEETAH”-а, која одређује улазне податке за апликацију „СHEMKIN”.

Хемијска равнотежа примењена у апликацији „СНЕЕТАН” предвиђа састав, густину, и температуру почетних производа детонација пре експанзији промена хемијског састава за анаеробну експанзију гасовитих продуката детонације. За TNT:В:Mg, прорачун у апликацији „СНЕЕТАН” се може вршити укључујући или искључујући предвиђања за Композицију В. Зато што формулација TNT:В:Mg не садржи довољно кисеоника за потпуну оксидацију угљеника, В и Mg у формулацији, па су гориво производи детонације (Kim, 2004). У интеракцији са атмосферским ваздухом, може проузроковати да аеробне реакције настају, производећи ватрену лопту.

Чист TNT применом апликације „СНЕЕТАН” – а, даје могућност предвиђања састава хемијских врста које настају када Композиција TNT:В:Mg детонира, а производи се шире дофиксне композиције.

Једначина хемијске равнотеже се одређује на следећи начин:



За В активно, једначина хемијска равнотежена је:



Табеле 7.4. и 7.5. показују предвиђену еволуцију најзаступљенијих, 99,9%, производа детонације чврстог и гасовитог агрегатног стања, TNT:Mg:В.

Табела 7.4. Производи детонације за TNT:Mg:В, у односу 80:4:16 по тежини у различитим фазама ослобађања енергије и производи реакционе стехиомерије 1 (Cooper, 1996)

Chapman-Jouguet С-Ј тачка, [3,240 К, 20 GPa]		Замрзнуто стање [1,800 К, 1 atm]		Потпуно сагоревање	
Врста	Молска фракција	Врста	Молска фракција	Врста	Молска фракција
С (gr ^a)	0.3354	CO	0.3131	CO ₂	0.47
H ₂ O	0.1204	С (gr ^a)	0.1365	H ₂ O	0.169
CO ₂	0.06704	N ₂	0.1130	N ₂	0.101
N ₂	0.08052	CO ₂	0.01948	MgO	0.079
CHNO	0.04457	H ₂ O	0.01488	В	0.178
CO	0.05129	CH ₄	0.05785	-	-
NH ₃	0.01240	H ₂	0.05299	-	-
CH ₄	0.004711	NH ₃	0.0009868	-	-
H ₂	0.004455	C ₂ H ₆	0.0006369	-	-
C ₂ H ₄	0.002061	C ₂ H ₄	0.001167	-	-
CH ₃ OH	0.0005025	CHNO	0.0001106	-	-
NO	0.00007832	CH ₂ O ₂	у траговима	-	-
C ₂ H ₆	0.0002948	CH ₃ OH	у траговима	-	-
CH ₂ O ₂	0.0001280	HCN	0.0007358	-	-
H	0.00005574	C ₂ H ₂	0.0001708	-	-
MgO (s ^b)	0.08492	MgO (s ^b)	0.08875	-	-
В (s)	0.1909	В (s ^b)	0.1995	-	-

Табела 7.5. Производи детонације за TNT:Mg:B, у односу 80:4:16 по тежини у различитим фазама ослобађања енергије и производи реакционе стехиомерије 2 (Cooper, 1996)

Charman-Jouguet C-Јгачка, [3,240 K, 20 GPa]		Замрзнуто стање [1,800 K, 1 atm]		Потпуно сагоревање	
Врста	Молска фракција	Врста	Молска фракција	Врста	Молска фракција
C (gr ^a)	0.03955	CO	0.3642	CO ₂	0.519
H ₂ O	0.03643	C (gr ^a)	0.1538	H ₂ O	0.185
CO ₂	0.002121	N ₂	0.01385	N ₂	0.111
N ₂	0.1102	CO ₂	0.0002987	B ₂ O ₃	0.098
CHNO	0.01013	H ₂ O	0.0005218	MgO	0.087
CO	0.02226	CH ₄	0.009040	-	-
NH ₃	0.02917	H ₂	0.1690	-	-
HOBO	0.007589	HCN	0.001039	-	-
C ₂ H ₂	0.001033	C ₂ H ₂	0.0007332	-	-
NO	0.00007832	HOBO	0.0001096	-	-
CH ₄	0.03052	NH ₃	у траговима	-	-
H ₂	0.02056	C ₂ H ₆	у траговима	-	-
C ₂ H ₄	0.01633	C ₂ H ₄	0.0001953	-	-
CH ₃ OH	0.0005025	CHNO	у траговима	-	-
C ₂ H ₆	0.003131	CH ₂ O ₂	у траговима	-	-
CH ₂ O ₂	0.0001280	CH ₃ OH	у траговима	-	-
H	0.00005574	HCN	0.001039	-	-
MgO (s ^b)	0.08492	C ₂ H ₂	0.0007332	-	-
B (s ^b)	0.1909	MgO (s ^b)	0.08849	-	-
C (l ^c)	0.4588	BN (s ^b)	0.1985	-	-
B ₂ O ₃ (l ^c)	0.1099	B ₂ O ₃ (l ^c)	0.0001562	-	-
MgO (l ^c)	0.1012	-	-	-	-

7.3.6. Емисија CO₂, CO и CH₄ приликом детонације чврстих експлозива

Емисија чврсте материје (PM) приликом детонације приказани су у Табели 7.6. и Слици 7.5. Детонација TNT-а на површини песковитог земљишта је допринела емисији веће количине чврстих честица песка.

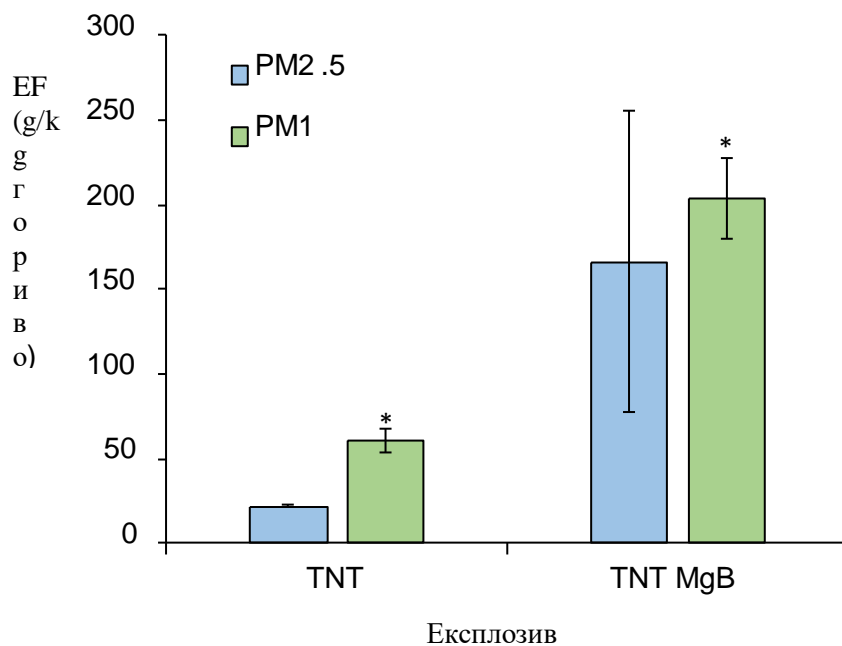
Табела 7.6. Продукти PM честица детонацијом TNT-а и TNT:Mg:B (Cooper, 1996)

PM број	Експлозивна материја	n ^a	Средња вредност у g/kg за пуњење	Стандардна девијација у g/kg за пуњење	RSDb %	RPDc %
PM _{2.5}	TNT	2	22	0,48	2.2	-
PM ₁₀	TNT	2	61	-	-	23
PM _{2.5}	TNT:Mg:B	3	166	89	53	-
PM ₁₀	TNT:Mg:B	2	204	-	-	23

^a Број узорака.

^b Калкулација са n=3 или више.

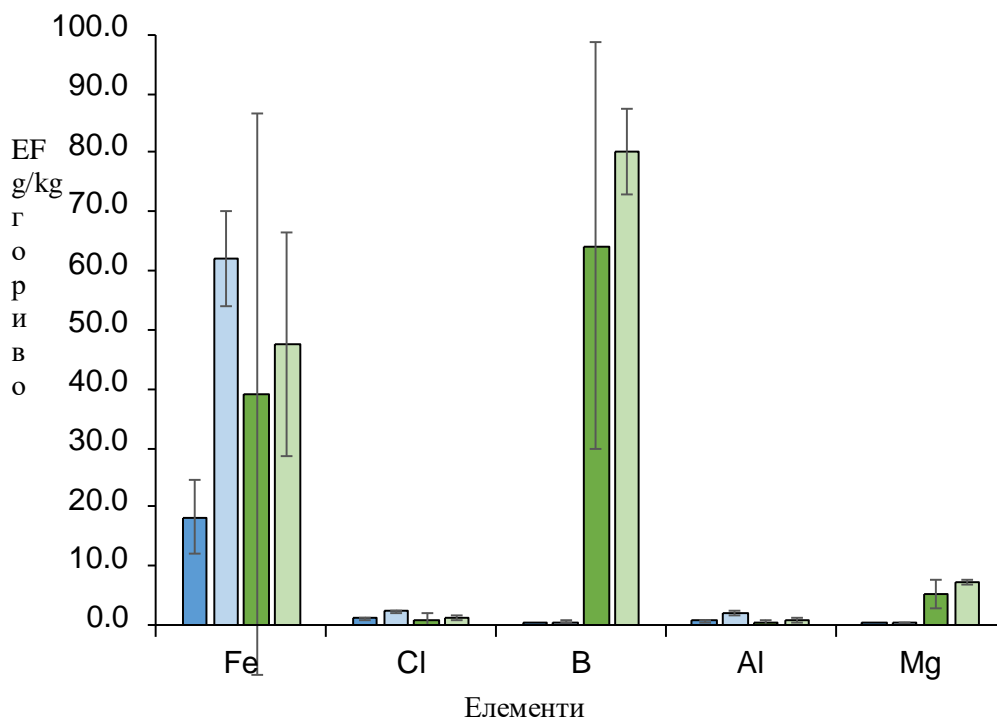
^c Калкулација са n = 2.



Слика 7.5. Продукти детонације РМ честица детонацијом TNT-а и TNT:Mg:B (Cooper, 1996)

7.3.7. Елементи

У честицама емисије заступљене су и емисије елемената, међу којима је најзаступљенији елемент В за експлозив TNT:Mg:B, са дијапазоном величина $64,18 \pm 34,35$ g/kg горива, док су се вредности код чистог TNT-а, кретале у дијапазону од $0,199 \pm 0,007$ g/kg горива, као Слика 7.6. и табелама 7.7. и 7.8. Слика 7.6. приказује елементе емисионих фактора. Нивои Mg су такође били виши у TNT:Mg:B перјаницама са вредностима од $5,20 \pm 2,48$ g/kg горива, него из TNT, јер су се вредности кретале од g/kg $0,034 \pm 0,014$ g/kg горива).



Слика 7.6. Елементи који су производ детонације TNT-а и TNT:Mg:B (Cooper, 1996)

Табела 7.7. Емисиони фактори детонације TNT-а (Cooper, 1996)

Метали	n ^a	Средња вредност g/kg за пуњење	PM2.5 Стандардна девијација g/kg за пуњење	RSDb %	n ^a	PM ₁₀ Средња вредност g/kg за пуњење	RPD %
Fe	3	18.261	6.197	34	2	62.134	26
Cl	3	1.248	0.105	8.4	2	2.542	7.6
B	2	0.199	...	7.1	2	0.503	95
Al	3	0.750	0.198	26	2 ^d	2.09	49
Cu	3	0.256	0.137	54	2	0.315	29
Mg	2 ^d	0.034	...	86	2 ^e	0.205	106
Mn	3	0.221	0.030	14	2	0.589	33
Zn	3	0.167	0.010	6.1	2	0.304	28
Ba	3	0.0482	0.0241	50	2	0.126	54
Ni	3	0.0460	0.0141	31	2	0.138	27
Sb	3	0.0427	0.0215	50	2	0.048	11
Cr	3	0.0345	0.0089	26	2	0.110	15
Pb	3	0.0197	0.0039	20	2	0.028	32
Bi	3	0.0114	0.0061	53	2 ^d	0.015	79

^a Број узорака.

^b Калкулација са n = 3 или више.

^c Калкулација са n=2.

^d Вредности су биле више од три пута мање од несигурности аналитичке методе.

^e Вредности су биле три пута мање од несигурности аналитичке методе.

Табела 7.8. Емисиони фактори детонације TNT:Mg:B (Cooper, 1996)

Елемент	PM2.5 n ^a	Средња вредност g/kg пуњења	Стандардна девијација пуњења g/kg	RSDb %	PM ₁₀ n ^a	Средња вредност g/kg пуњења	RPD %
Fe	3	39.101	47.345	121	2	47.496	80
Cl	3	1.001	0.924	92	2	1.242	61
B	3	64.180	34.350	54	2	80.051	18
Al	3 ^d	0.394	0.300	76	2 ^e	0.84	68
Cu	3	0.169	0.135	80	2	0.243	40
Mg	3 ^d	5.197	2.483	48	2 ^e	7.331	11
Mn	3	0.321	0.364	113	2	0.421	72
Zn	3	0.197	0.142	72	2	0.271	30
Ba	3	0.1040	0.0872	84	2	0.113	69

Елемент	PM _{2.5} n ^a	Средња вредност g/kg пуњења	Стандардна девијација пуњења g/kg	RSDb %	PM ₁₀ n ^a	Средња вредност g/kg пуњења	RPD %
Ni	3	0.0751	0.0833	111	2	0.105	67
Sb	3	0.0253	0.0159	63	2	0.038	57
Cr	3	0.0710	0.0892	126	2	0.084	94
Pb	3	0.0182	0.0126	69	2	0.027	4.0
Bi	2	0.0037		22 ^c	2	0.002	113
		Средња вредност	Стандардна девијација			Средња вредност	
		g/kg елемента у пуњењу				g/kg елемента у пуњењу	
B	3	822.0	439.9	54	2	235.1	18
Mg	3 ^d	66.6	31.8	48	2 ^e	141.4	11

^a Број узорака.

^b Калкулација са n = 3 или више.

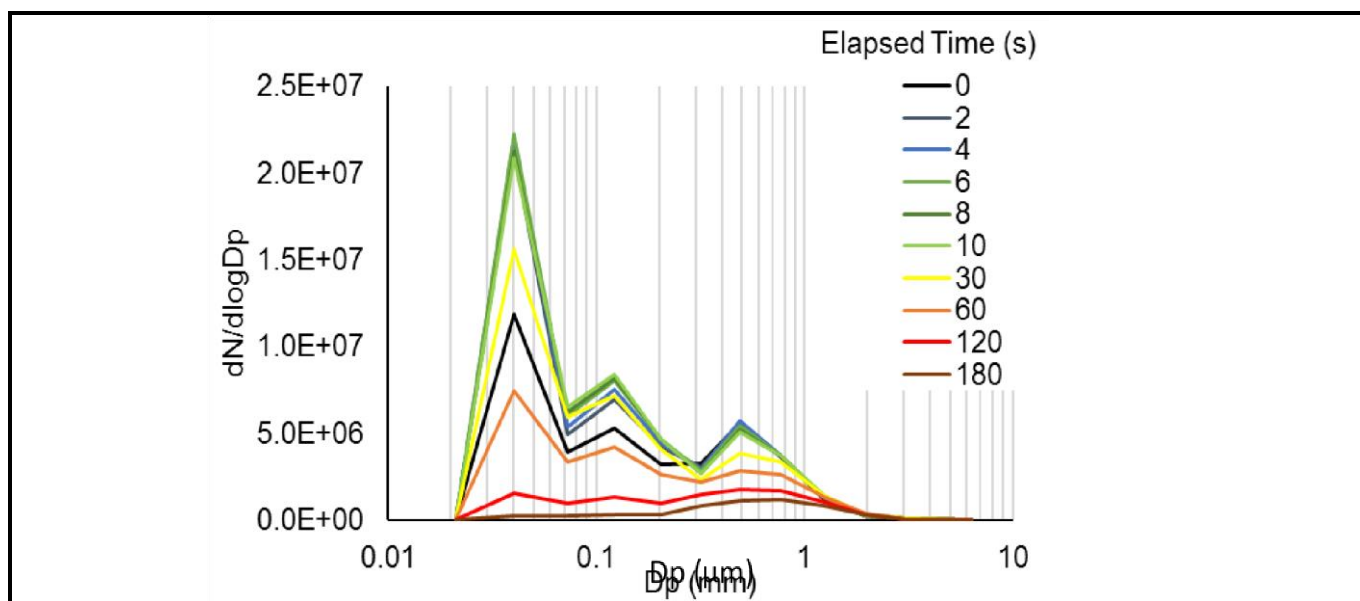
^c Калкулација са n=2.

^d Вредности су биле више од три пута мање од несигурности аналитичке методе.

^e Вредности су биле три пута мање од несигурности аналитичке методе.

7.3.8. Расподела РМ честица

Расподеле бројева, Слика 7.7. биле су у оквиру опсег инструмента и показао логнормалан облик. Композиција TNT:Mg:B детонације је тримодална дистрибуција са пиком од приближно 0,04 до 0,53 μm . Ове масене интерполације расподеле величине честица су у складу сарезултатима филтера који показују већу емисију PM₁₀ у поређењу са PM_{2,5}.



Слика 7.7. Расподела РМ честица током прва три минута детонације TNT:Mg:B (Cooper, 1996)

8. МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР

8.1. Методе за предвиђање токсичних материја сагоревања и детонације

Важност токсичне емисије из пожара пропозната је у софтверу Велике Британије, Финске и Данске названом TOXFIRE (Petersen i Markert, 1991).

Важан осврт је дат хемијским пожарима у складиштима хемикалија. Анализа сагоревања разних материјала почев од полипропилена, најлон 66, тетраметилтиурам моносулфид и закључно са 4-хлоро-3-нитробензенова киселина су одабрани за експерименталне материје и сагледавање емисије. Резултат је приказан кроз количину производа сагоревања по маси производа употребљеног материјала, који се назива фактор емисије.

Сагледавајући истраживања за угљоводонична горива најзначајније резултате је показао софтвер „NIST”, јер су постигнути изванредни резултати мерења фактора емисије као што су CO, CO₂, NO_x, SO₂, испарљива органска једињења (VOC_s), полиароматични угљоводоници (PAH_s), дима и различитих врста сирове нафте, дизела и емулгованог угља (McGratten et al., 1993; Walton, 1994; Fingas, 1995; Baum et al., 1996; Laursen, 1992).

Прорачун изворних загађивача се израчунава према следећој формули:

$$S_i = \dot{m} \times A_f \times EF_i \quad (8.1)$$

Увидом у недостатке наведених софтвера „NIST” због варијација у факторима емисије, приступило се софтверу „NAME” је коришћен као атмосферски модел за прорачун параметара за предвиђање токсичних опасности низ ветар (Mohan et al., 2012).

Моделовање фактора емисије се врши путем динамичког кода са хемијском кинетиком. Да би се реакција хемијске кинетике поједноставила са везом за флуид и динамичке процесе. Модел је назван атмосферска дисперзија реактивних средстава, софтвер „ADORA”. Применом овог модела може се пратити еволуција од почетног пожара или експлозије са елементима ваздуха, њихове међусобне реакције као и таложње чврстих честица. Модел анализира трансформације за предвиђање токсичности.

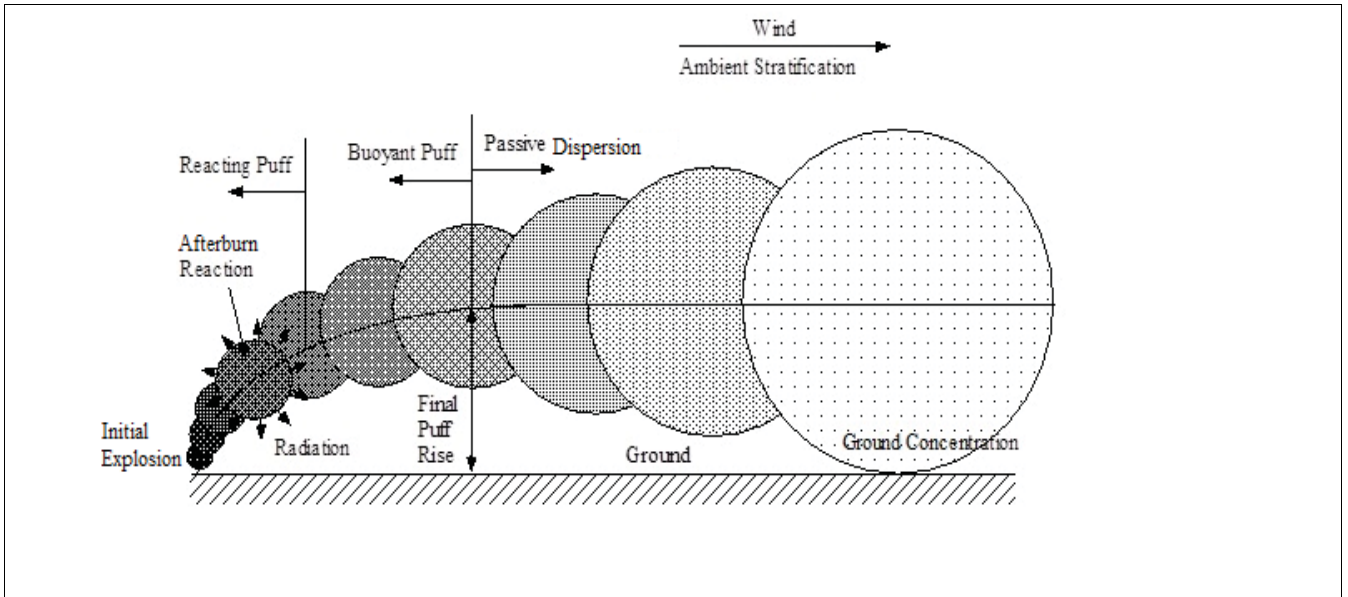
8.2. Модел „ADORA”

Употребом овог модела израчунава се састав и дисперзија облака који је резултат реактивних хемикалија које се ослобађају. Да би се извршио прорачун од улазних података је потребан састав и локални услови околине. Узимајући у обзир да је облик облака познат као што је приказано на слици и наставак облака, приказује очување масе, једначине импулса, енергије и врсте у интегралној формулацији. Динамика облака са аспекта механике флуида објашњена је и објављена у раду (Moussa et al., 1995).

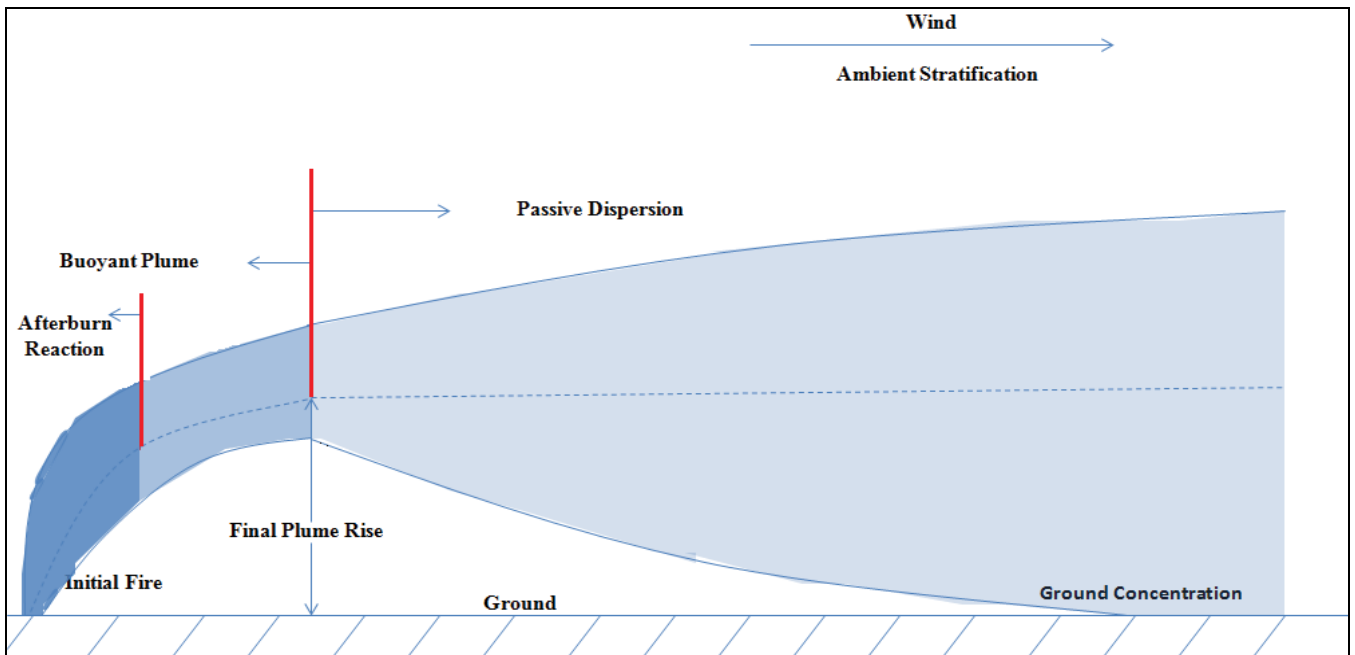
Облак еволуира кроз четири фазе. Прва фаза је иницијална детонација у временском дијапазону од неколико милисекунди. Велика количина енергије се ослобађа у кратком времену при чему ствара облак веома покретним и врелим. Током ове фазе формирају се и HBr HCl и HF. Друга фаза реакције започиње на крају детонације и временски траје једну секунду. Током ове фазе се стварају токсичне материје и облак тада путује врло брзо под утицајем ветра. Динамика кретања облака дефинише и брзину увлачења сједињавања ваздуха са облаком. Турбуленцијом део заробљеног ваздуха меша се са продукцима детонације, на основу чега се ослобађа додатна топлота. Сам облак губи топлоту под утицајем ваздуха. Уколико се у облаку налазе халогени попут Br₂ и Cl₂ под утицајем ваздуха се хлади као крајњи продукти ће настати HF и HCl. На температури од 1000 до 2000 K, смрзавање продукта је могуће. Једињења са већим енергијама активације до уништења сразмерно више температуре смрзавања. Да би се адекватно моделирао хемијски састав смрзавања, тј. температуру на којој се постижу највеће концентрације једињења. Приликом одабира температуре смрзавања, избор дефинисане температуре се не сме мењати ни за један наредни алтернативни сценарио.

Методологија одређивања тачке смрзавања у „ADORA” софтверу се врши тако што се у било којем временском интервалу у успону температура смрзавања падне испод границе прага замрзавања софтвера маса једињења се уноси у прорачун равнотеже. Трећа фаза настаје при порасту облака који увлачи ваздух и распршује се као што је приказано на Слици 8.1. Процес траје неколико секунди све до тренутка када густина облака не постане једнака густини облака из околине.

Четврта фаза представља пасивну фазу на крају узлазног успона облака. У том тренутку облак престаје да се шири и подлеже разређивању. На основу модела извршено је усаглашавање хемијске кинетике са динамиком кретања облака, при чему се израчунава величина, пораст, путања, коначан састав и путања кретања облака у атмосфери.



Слика 8.1. Облик облака (Moussa et al., 1995)



Слика 8.2. Динамика простирања облака од иницијалног пожара (Moussa et al., 1995)

8.3. Верзије модела

Коришћење модела је разнолико, зато што неки истраживачи не мере пораст и узгон облака, други мере хемијски састав док трећи токсичну дисперзију. На основу претходно наведеног су и направљене различите верзије. Хемијске реакције у облацима које су настале под утицајем пожара или експлозије се одвијају на сличан начин. Предмет анализе су хемијске детонације пуњења приближно до 1000 kg експлозивне материје, у САД на полигону Dugway Proving Grounds или (DPG), тестови по 10 kg експлозивне материје у Невади, САД (Watkins et al., 2000).

Тестови по 1 kg експлозивне материје у Националној лабораторији у Сандији, Sandia National Laboratories Bang Vox постројење. Узимајући у обзир количине експлозивне материје детонираних у једном тренутку, параметре околине, влажност, надморску висину може се израчунати динамика, састав облака и приноси производа реакције. Резултати мерења су приказани у Табели 8.1. Процент предвиђања је одличан јер је 26 од 28 предвиђања дало одличне параметре. У Табели 8.1. су такође приказана и поређења са осталим прихватљивим моделима и дата упоредна одступања као што је модел „ALOHA”.

За разлику од модела „ADORA”, модел „ALOHA” користи полуемпиријске формуле пораста облака и константан проток количине продуката емисије. Поједностављењем модела добијамо следеће недостатке:

- уколико сложену реакцију са компонентама и фазама поједноставимо у неколико корака није нам познат обим реакције и врсте које су токсичне,
- предвиђање производа реакције, не узимајући у обзир брзину увлачења спољњег ваздуха и температуру облака,
- занемарује се динамика узгонског облака, већ се прихвата теорија тренутног ослобађања топлоте и
- кључни рецептор може бити близу места ослобађања да облак пролази поред пре завршетка реакције и занемаривање токсичних материја кретањем облака.

Табела 8.1. Поређење параметара модела „ADORA” и „ALOHA” на полигонима Америчке војске Dugway Proving Grounds (Johnson, 1992).

Експлозив	Извор података	CO ₂	CO	NO	NO ₂	CH ₄	TNMH	C ₆ H ₆	
RDX	Мерење на терену	570	31	0,9	0,6	1,2	1,3	0,069	
	„ADORA”	590	13	0,91	0,7	1,7	2,2	0,076	
	„ALOHA”	E/A=1,5	520	46	0	0	0,01	0	0
		E/A=1,0	590	3,2	0	0	0	0	0
TNT	Мерење на терену	1280	49	1,4	1,4	1,5	2,1	0,1	
	„ADORA”	1260	58	2	1,2	1	0,85	0,14	
	„ALOHA”	E/A=0,43	920	280	0	0	0,19	0	0
		E/A=0,25	1360	0	0,03	0	0	0	0
Композиција Б	Мерење на терену	870	31	0,8	1	0,6	1,2	0,062	
	„ADORA”	980	48	1,7	1	1,7	2,3	0,18	
	„ALOHA”	E/A=0,67	750	97	0	0	0	0	0
		E/A=0,43	900	0	0,01	0	0	0	0
Експлозив Д	Мерење на терену	990	53	0,9	1,1	2,4	2	0,11	
	„ADORA”	840	140	0,9	0,8	2	2,1	0,13	

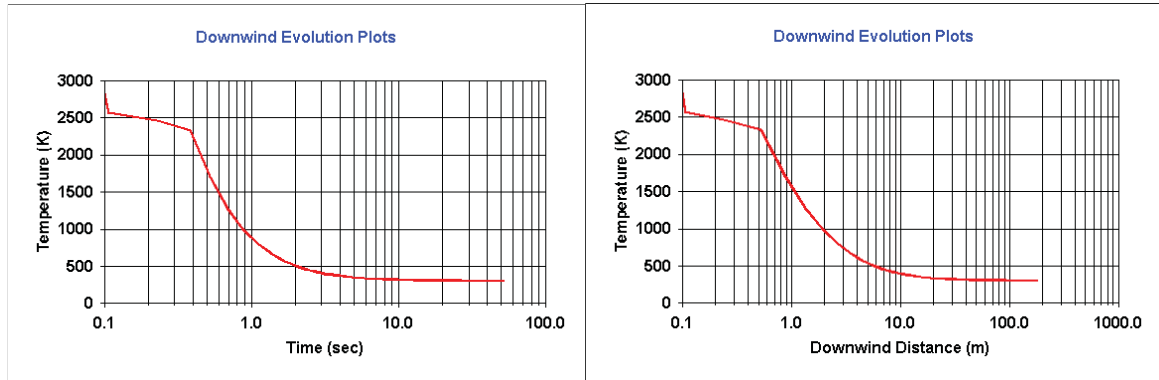
Напомена: - Композиција Б је експлозив који садржи 59,5% RDX, 39,5% TNT и 1% воска.

- Експлозив Д је амонијум нитрат

8.4. Резултати и дискусија

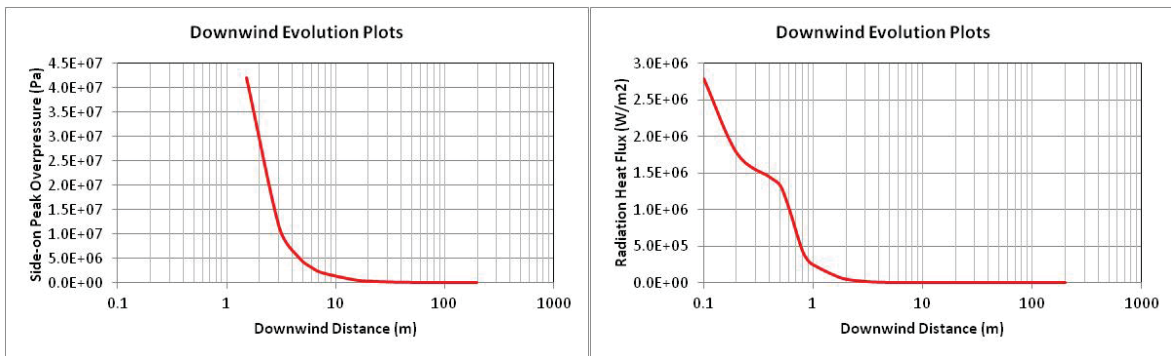
Модел „ADORA” је коришћен за симулацију два сценарија. Први део разматра експлозију и процес након експлозије, док други сценаријо разматра пожаре са реактивним хемикалијама. Симулација је представљена за детонацију 400 kg Композиције Б. Резултати прорачуна указују да су главни производи

детонације CO_2 и H_2O и да нису токсични. У много мањим концентрацијама се јављају CO , азотни оксиди (NO_x) и VOC_s који су токсични, што је приказано у Табели 8.1. На даљи ток, температуру и ширење облака има ветар који је претпостављен да је 1 атмосфера, температура 20°C , влажност ваздуха 55%, и брзина ветра $0,3\text{ m/s}$. Температура облака варира са временом и удаљеношћу од епицентра, што је приказано на сликама 8.3а. и 8.3б. Реакција постдетонације између ваздуха и производа детонације се јавља за око једну секунду. Време које је потребно да протекне да би се облак охладио до температуре околине је 55 s. Путања облака је 180 m низ ветар, а радијус облака се повећава до 58 m, на висини од 264 m, где прелази у пасивну дисперзију.



Слика 8.3.а. и 8.3.б. Температура облака у функцији времена (а) и удаљености (б) (<http://www.csb.gov/on-first-anniversary-of-investigation-board-releases-data-on-167-seriousreactive-incidents/>)

Крајњи топлотни ефекти детонације приказани су на Слици 8.4.а. На Слици 8.4.б. приказан је надпритисак од експлозије генерисане детонацијом у зависности од удаљености. Прорачун је вршен до момента преласка у пасивну детонацију. На основу температуре облака израчунат је максимални топлотни ток облака у зависности од ветра и приказан на сликама 8.4.а и 8.4.б.



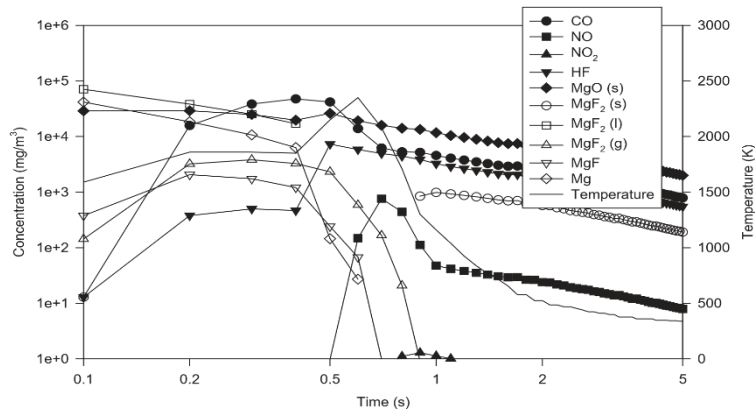
Слика 8.4.а. и 8.4.б. Надпритисак експлозије и максимални топлотни ток из облака (<http://www.csb.gov/on-first-anniversary-of-investigation-board-releases-data-on-167-seriousreactive-incidents/>)

8.5. Индустијски пожар

Примери пожара који су анализирани у програму „ADORA” су индустријски и складишни пожари. Услови испитивања су притисак вредности од 1 атмосфере, температура 20°C , влажност 55% и брзина ветра од 8 m/s . Индустијски пожар подразумева горење 35 kg дизел горива, 33 kg магнезијума, 19 kg тефлона (C_2F_4)_n са садржајем флора од 61% и 3 kg витона А са садржајем флора од 66 до 70%. Применом закона о термохемијској равнотежи као резултат се добијају производи који временом еволуирају под утицајем промене температуре облака. Испитивањем је утврђено да једињења као што је HF се разлажу веома споро када је температура испод 1400 K, уз стварање нових HF. Производи као што је CO , NO_2 , HF и MgO при температурама од 1300 до 2350 K.

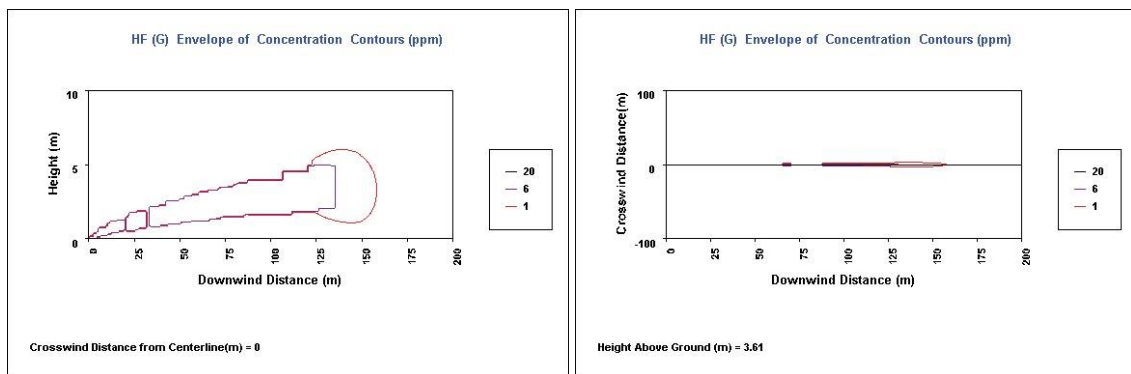
Температуре и концентрације кључних производа разградње зависи од времена, што је приказано на

Слици 8.5. где су прецизно приказана и границе пада температуре након детонације од 0,7 s и концентрација CO се повећава током првих 0,5 s, а након тога долази до релаксације због разблаживања спољним ваздухом. Може се увидети и карактеристично примери промене у касној еволуцији облака као што је MgF_2 , у супротном ако не пратимо температуру замрзавања, већ термохемијску равнотежу као крајњи производ добија се MgF_2 . При чему концентрација токсичног HF, повећава до три пута. Хемијске реакцију трају свега једну секунду, након чега доминира утицај спољњег ваздуха и дисперзија облака.



Слика 8.5. Временски зависна температура и хемијски састав облака (<http://www.csb.gov/on-first-anniversary-of-investigation-board-releases-data-on-167-seriousreactive-incidents/>)

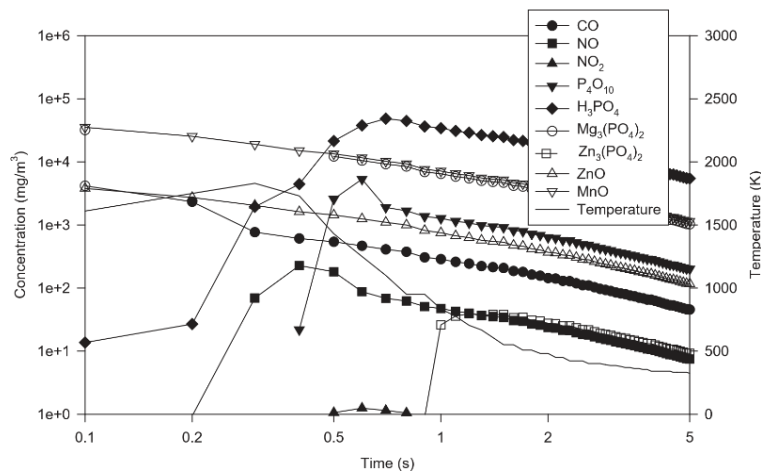
Облак достиже равнотежну висину од 160 μm на удаљености од 360 m за време од 50 s. Опасне концентрације су врло близу извора, али све више расту са растојањем, што је приказано на Слици 8.6а. Концентрације производа које су дисперговане далеко од средишне линије су занемариване у прорачуну, што је приказано на Слици 8.6б.



Слика 8.6а и 8.6б Облик и садржај концентрације HF (<http://www.csb.gov/on-first-anniversary-of-investigation-board-releases-data-on-167-seriousreactive-incidents/>)

8.6. Складишни пожар

Материја које су испитиване као запаљиви састав складишта су црвени фосфор у количини од 24 kg, манган диоксид у количини од 15 kg, магнезијум у количини од 3 kg, цинк оксид у количини од 1,4 kg, ланено уље у количини од 1,5 kg и вода у количини од 45 kg. Раст температуре и реакција пожара је приказана на Слици 8.7. Динамика је слична претходном примеру, сем што су главни производи фосфати, фосфорна киселина, оксиди метала и разни оксиди фосфора.



Слика 8.7. Температура и хемијски састав облака услед пожара (<http://www.csb.gov/on-first-anniversary-of-investigation-board-releases-data-on-167-seriousreactive-incidents/>)

Развој облака, састава продуката, токсичних материја и дисперзију можемо предвидети путем програма „ADORA”, путем модела „ограничене равнотеже”. Предвиђања путем модела „ADORA”, може се упоредити са резултатима добијеним путем четири теста на детонацију на полигону Dugway Proving Grounds.

Највећи допринос је предвиђање штетних и токсичних емисија, ради заштите животне средине.

8.7. Метода за предвиђање емисије „ADORA”

Програм „ADORA” је софтверски алат за анализу последица по животну средину. Постоји више врста „ADORA” модела у складу са наменом:

- ОБ и ОД (отворено сагоревање и отворена детонација) експлозивних материја и муниције, испаравање и изливање хемикалија,
- Пожар и експлозија у инцидентима и акцидентима погона, складишта и магацина и
- Нуклеарни, биолошки и хемијске катастрофе.

Са базом података са више од 2100 опасних материја, укључује:

- Проверене податке са експерименталним потврђивањем;
- Подаци су наведени од реномиране агенције ЕРА,
- Коришћен је као извор података о инвентару токсичних материја у 13 складишта муниције војске САД и
- Представља устаљени систем за модел емисије и дисперзије ваздуха за животну средину у авио бази „Englin”.

Примењује се за карактеризацију извора за различите сценарије испуштања, реаговања ширења облака, узлетања, успона и дисперзије у разним метеоролошким условима. Разматра интеракције са динамиком узгона, вишефазне термодинамике и вишестепених хемисјких реакција за широк дијапазон загађујућих материја. Ослобођена топлота је опрнуто пропорционална брзини разблаживања облака и може утицати на смањење токсичности.

8.8. Метода за предвиђање емисије „ALOHA”

Програм „ALOHA” је софтверска апликација намењена за инсталациони софтверски пакет „Windows” и „Macintosh” развијен је од стране Националне управе за океане и атмосферу (NOAA) у сарадњи са Канцеларијом за управљање ванредним ситуацијама Агенције за заштиту животне средине (EPA). Основна намена је да стручним лицима да основу просторног ширења ватрене лопте услед евентуалних опасности настале изливањем хемикалија или експлозијом опасних материја, попут експлозивних материја. Поред предвиђања просторног ширења, пакет пружа могућност прорачуна и предвиђања ослобађања испарљивих запаљивих хемикалија. Предвиђање ослобађања подразумева токсичну хемијску пару, топлотно зрачење хемијских пожара, притиска и ударног таласа експлозивне ватрене лопте. Софтвер пружа могућност графичког приказа интерфејса за унос података са излазним извештајем и табеларним приказом резултата. Приликом обраде резултата, излазне информације се формирају са свим релеватним подацима и информацијама о подручју иницијације, надпритиску из облака и зоне опасности, праћено прорачуном времена у зависности од експозиције у критичним тачкама.

Табела 8.2. Моделирање према категоријама опасности у апликацији „ALOHA” (<http://cameochemicals.noaa.gov/>)

Сценарио/Извор	Директан извор	Резервоар	Изливање и испарење	Енергетски цевовод
Облак паре	Токсична испарења	Токсична испарења	Токсична испарења	Токсична испарења
Облак са ватром	Запаљиво подручје	Запаљиво подручје	Запаљиво подручје	Запаљиво подручје
Експлозивна лопта	Надпритисак	Надпритисак	Надпритисак	Надпритисак
Ватра у постројењу	-	Топлотно зрачење	Топлотно зрачење	-
Ватрена лопта	-	Топлотно зрачење	-	-
Јак пожар	-	Топлотно зрачење	-	Топлотно зрачење

За ефикасно прорачунавање и коришћење пакета, неопходни су валидни подаци који морају бити садржани у бази података и подхрањени са идентитетима хемикалија и могућих сценарија. Карактеристично је да „ALOHA” даје типичне зоне опасности у распону од 102 до 105 метара са временом трајања до сат времена. Приликом обраде података пакет користи задато поље ветра које је константно са временом или хоризонталним положајем, али се мења приликом промене надморске висине. Ефикасност прорачуна је у случајевина до максималне брзине ветра од 5 m/s, а у изузетним случајевима до граничних 10 m/s. Једна од битних карактеристика пакета је да се концентрација загађујуће материје која се испусти у атмосферу може пратити са временом и положајем. Принцип функционисања и прорачуна је заснован на Гаусовом (Gauss) принципу за предвиђање утицаја ветра и транспорт облака, на које силе гравитације нема утицаја. Напредном анализом сагоревања односно детонације праћене експлозијом може се утврдити однос горива и ваздуха са прорачун односа са којим се остварује највећа енергија. Поред натпритиска и ударног таласа као пратећи и неизоставан параметар је топлотно зрачење уз одређивање епицентарних тачака топлотне енергије приликом одвијања хемијске реакције.

Обрада података је неизоставна без употребе датотека са физичким, хемијским и токсиколошким својствима опасних материја. Овакви подаци су садржани у датотеци са називом „CAMEO CHEMICALS” које се ажурира и коригује на дневном нивоу од стране одељења за хитне случајеве (NOAA) и Канцеларије за управљање ванредним ситуацијама у EPA (<http://cameochemicals.noaa.gov/>).

8.8.1. Модели за израчунавање „BLAST” ефекта из ватрене лопте

Приликом инцидента или акцидента експлозивна материја се након иницијације маша са атмосферским ваздухом и путује низ правац ветра. Уколико се реакција сагоревања одвија *дефлаграцијом* облак се шири путем дифузије реактивних врста. За разлику од *дефлаграције*, процес *детонације* се одвија кроз реактивну мешавину горива и ваздуха помоћу оствареног притиска који се шири брзином звука. У оба случаја може доћи до реакције која ће изазвати рапидно повећање притиска и температуре. Надпритисак који се створи унутра облака који има енергију рушећег дејства назива се *ударни талас*. Уколико се почетно сагоревање убрза турбуленцијом изазване неком баријером реакција дефлаграције може прећи у детонацију. Прорачуном Америчког института инжењера, експериментално је израчунато да је енергија потребна за директно иницирање детонације реда величине око 1000 џула.

Ефекат рушећег дејства или моћи експлозивне материје зависи од облика и величине ударног таласа. Програски пакет „ALONA” користи максимални или вршни притисак за карактеризацију крајњих ефеката ударног таласа, укључујући директан и индиректан утицај дејства притиска. Програм користи недимензионалне емпириски добијене криве за предвиђање надпритиска или снаге ударног таласа. Принцип предвиђања код ово методе је да се унутар облака, односно ватрене лопте формирају физичке структуре које могу убрзати фронт пламена. Карактеристичан параметар за овакву појаву је насипна густина или густина структуре. Процена експозијског таласа из паре експлозивног облака представља неограничену средину по вертикалној и хоризонталној равни. Реактивност експлозивне материје, односно продуката сагоревања имају велики утицај на брзину одвијања хемијске реакције, узимајући у обзир да експлозивне материје са ниском реактивношћу имају брзине мање од 45 cm/s, док са високом реактивношћу имају брзину већу од 75 cm/s. На брзину фронта пламена утичу баријере попут високих стабилних бетонских објеката и природних препрека попут засека увала, стена или планинаских масива. Уколико се турбуленција повећава, ефекат и моћ ударног таласа је већа. Графички подаци морају бити усаглашени са функцијом из обрасца:

$$\frac{\Delta P}{P_{atm}} = Dif \cdot x \langle x_0 \quad (8.2)$$

$$\text{или } \frac{\Delta P}{P_{atm}} = A \cdot B^{1/x} \cdot x^C \quad (8.3)$$

где је:

ΔP – максимални надпритисак,

A, B, C, D, X_0 – константе.

У Табели 8.3. су приказане вредности за различите пламене „Махове бројеве”.

Табела 8.3. Константе уклапања криве за различите вредности „Маховог броја” (<http://cameochemicals.noaa.gov/>).

	Махов број 0,2	Махов број 0,35	Махов број 0,7	Махов број 5,2
A	0,0335	0,1041	0,3764	0,2932
B	0,8359	0,8642	0,7439	1,399
C	-1,1192	-1,0568	-1,2728	-1,1591
D	0,065	0,22	0,65	20
X_0	0,35	0,32	0,3	0,16

Нормализована удаљеност X , је дефинисана као:

$$x = r \left(\frac{P_{atm}}{E} \right)^{1/3} \quad (8.4)$$

где је:

P_{atm} – атмосферски притисак,

r – удаљеност од центра облака, односно ватрене лопте.

Енергија која доприноси ударном таласу је:

$$E = r_{ef} \cdot H_c \cdot Mass \quad (8.5)$$

где је:

r_{ef} – фактор рефлексије земље,

H_c – топлота сагоревања горива,

$Mass$ – маса горива у експлозији.

Облак представља хемисферу у нивоу земље са уједначеном концентрацијом. Облаци који су даљи од површине имају мањи коефицијент рефлексије. Разлика у примени методе „ALOHA” и „Baker – Strehlow – Tang” (BST) је у методи одређивања количине горива у експлозији. Код „BST” методе маса горива унутар закреног подручја доприноси експлозији и брзина пламена је дефинисана нивоима загушења. Код „ALOHA” методе се брзина пламена заснива на просечном нивоу загушења унутар облака. Центар експлозије представља центар масе експлозивне материје ([Aloha \(Areal Locations of Hazardous Atmospheres\), 2013](#)).

Чиста животна средина представља предуслов за здрав живот свих живих бића и опстанак живота на дугорочном периоду. Технолошки развој је омогућио лагодан и напредан начин живота и рада, али са собом је донео низ негативних последица као што је загађење животне средине. Загађење животне средине је проблем читаве планете и уколико се не буду примењивале ефикасне и радикалне методе за смањење емисије и загађења са циљем потпуне елиминације, доћи ће до критичне акумулације, коју је немогуће превазићи.

Сагледавањем извора и потенцијалних ризика загађења животне средине, утврђено је да су крајњи негативни ефекти на животну средину потпуно различити са аспекта последица, периода утицаја и процеса дисперзије. Опасност од емисије и загађења представља претњу савременог доба, нарочито изражену у високо развијеним земљама.

Докторска дисертација сагледава методологије процене концентрације продуката емисије услед сагоревања или детонације експлозивних материја или убојних средстава и моделирање дисперзије продуката у животnoj средини.

Моделовање је извршено сагледавањем последица деловања продуката услед сагоревања или детонације експлозивних материја или убојних средстава у току животног циклуса почев од процеса производње, лабораторије, испитивања, манипулације, складиштења, употребе и уништавања.

У докторској дисертацији коришћени су софтверски пакети програма за моделовање, али и прорачуни физике експлозије, у циљу утврђивања нивоа концентрације продуката услед испарења и емисије у животnoj средини и аспекта последица дисперзије загађујућих материја у атмосфери.

Анализом добијених резултата применом нумеричке методе моделовања, утврђује се да:

- вредности нивоа концентрације продуката емисије, *зависе од* хемијског састава, масеног односа једињења, врсте, типа експлозивне материје,
- прорачун вредности нивоа концентрације продуката и моделовање кључних фактора емисије продуката експлозивне материја, применом метода „ALOHA” и „ADORA”, *одступају од измерених вредности* у лабораторијским или полигонским условима и
- одступање прорачунате вредности нивоа продуката емисије *није идентично* за све анализиране продукте и *не прелази 20%* у односу на измерене вредности параметара емисије у лабораторијским и полигонским испитивањима.

9. ПРОПИСИ КОЈИ РЕГУЛИШУ ПРОИЗВОДЊУ, МАНИПУЛАЦИЈУ, ТРАНСПОРТ, СКЛАДИШТЕЊЕ И УНИШТАВАЊЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА И ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА

Технолошки процеси производње, манипулације, транспорта, складиштења и уништавања убојних средстава и експлозивних материја се могу разврстати у две групе:

- прописи из области заштите од пожара у Републици Србији и
- прописи из области заштите од пожара у Министарству одбране и Војсци Србије и регулатива Компаније „Слобода” а.д. Чачак.

9.1. Републички прописи из области технологије производње, манипулације, транспорта, складиштења и уништавања убојних средстава и експлозивних материја

Прописи из области технологије производње, манипулације, транспорта, складиштења и уништавања убојних средстава и експлозивних материја:

- Закон о експлозивним материјама, запаљивим течностима и гасовима („Сл. гласник СРС”, бр. 44/77, 45/85 и 18/89 и „Сл. гласник РС”, бр. 53/93, 67/93 и 48/94 и „Сл. лист СФРЈ”, бр. 30/91),
- Правилник о заштити на раду при изради експлозива и барута и манипулисању експлозивима и барутима („Сл. лист СФРЈ”, бр. 55/69),
- Закон о промету експлозивних материја („Сл. лист СФРЈ”, бр. 30/85, 6/89 и 53/91 и „Сл. лист СРЈ”, бр. 24/94, 28/96 и 68/02 и „Сл. лист РС”, бр. 101/05-др. закон) и
- Закон о транспорту опасне робе („Сл. гласник РС”, бр. 104/16, 83/18, 95/18-др. закон и 10/19-др. закон).

9.2. Прописи Министарства одбране и Војске Србије при производњи, употреби, манипулацији, складиштењу, транспорту и уништавању убојних средстава и експлозивних материја

Прописи и регулативе из области технологије производње, манипулације, транспорта, складиштења и уништавања убојних средстава и експлозивних материја:

- прописи Министарства одбране и Војске Србије, су следећи:
 - ✓ Упутство за рад складишта убојних средстава, ТУ-V, 5105 из 2002. године,
 - ✓ Делораација муниције, Техничка управа за народну одбрану, И бр. 1833-1 од 23.09.1976. године,
 - ✓ Упутство за уништавање експлозивних материја и убојних средстава, интерни пропис Министарства одбране и Војске Србије,
 - ✓ Упутство за проналажење неексплодираних убојних средстава, интерни пропис, Министарства одбране и Војске Србије,
 - ✓ Прописи о квалитету производа за експлозивне материје и убојна средства и
 - ✓ Стандарди одбране Републике Србије за експлозивне материје и убојна средства.
- регулатива коју је израдило предузеће Компанија „Слобода” а.д. Чачак, је следећа:
 - ✓ елаборати о технолошком поступку при истраживању и развоју експлозивних материја и убојних средстава, интерни поступак са заштитом интелектуалне својине и технологије производње,
 - ✓ процедуре и технолошки поступци при производњи експлозивних материја и убојних средстава, интерне процедуре и прописи са заштитом интелектуалне својине,
 - ✓ процедуре и технолошки поступци при лабораторији експлозивних материја и убојних средстава, интерне процедуре и прописи са заштитом интелектуалне својине,

- ✓ процедуре и технолошки поступци при испитивању експлозивних материја и убојних средстава, интерне процедуре и прописи са заштитом интелектуалне својима,
- ✓ процедуре и технолошки поступци при делаборацији експлозивних материја и убојних средстава, интерне процедуре и прописи са заштитом интелектуалне својима и
- ✓ процедуре и технолошки поступци при уништавању експлозивних материја и убојних средстава. интерне процедуре и прописи са заштитом интелектуалне својима.

10. ДЕГРАДАЦИЈЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ У РАЗЛИЧИТИМ ФАЗАМА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

У овом поглављу дат је појам потенцијалног ризика на животну средину проузрокован емисијом технолошких процеса кроз животни век убојних средстава и експлозивних материја и методологија процене негативног утицаја на животну средину, при производњи, испитивању, употреби и уништавању експлозивних материја и убојних средстава.

10.1. Појам ризика загађења животне средине

Процена ризика при животном веку експлозивне материје и убојних средстава је полазна основа приликом израде Плана заштите од удеса за конкретно постројење.

Техничко технолошка несрећа – удес са експлозивним материјама је изненадни и неконтролисани догађај или низ догађаја који је измакао контроли приликом управљања одређеним средствима за рад и приликом поступања са експлозивним материјама након поремећаја регулаторног тока технолошког поступка у производњи, употреби, транспорту, промету, преради, складиштењу, одлагању и уништавању, што за последицу проурокује пожар, хаварија, експлозија, сагоревање или детонацију приликом транспорта експлозивне материје у друмском, речном, железничком и авио транспорту, удес у магацинима и складиштима, рудницима и тунелима и инциденти и акциденти при руковању експлозивним материјама, а чије последице угрожавају безбедност и животе људи, материјална добра и животну средину.

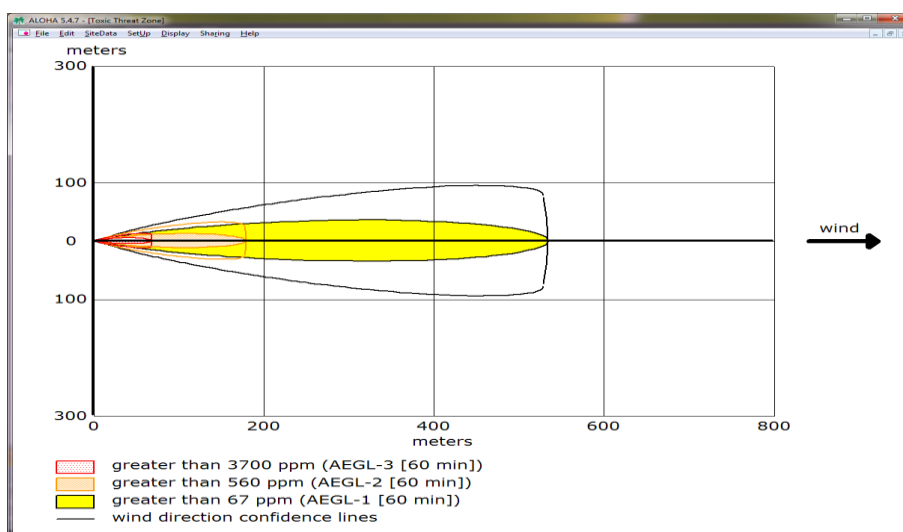
У овој докторској дисертацији ће бити разматран само утицај који изазива опасност по животну средину.

Утицај техничко технолошког удеса и могуће последице, у овој докторској дисертацији су разматране кроз шест хипотеза и 36 могућих сценарија, током животног циклуса експлозивне материје:

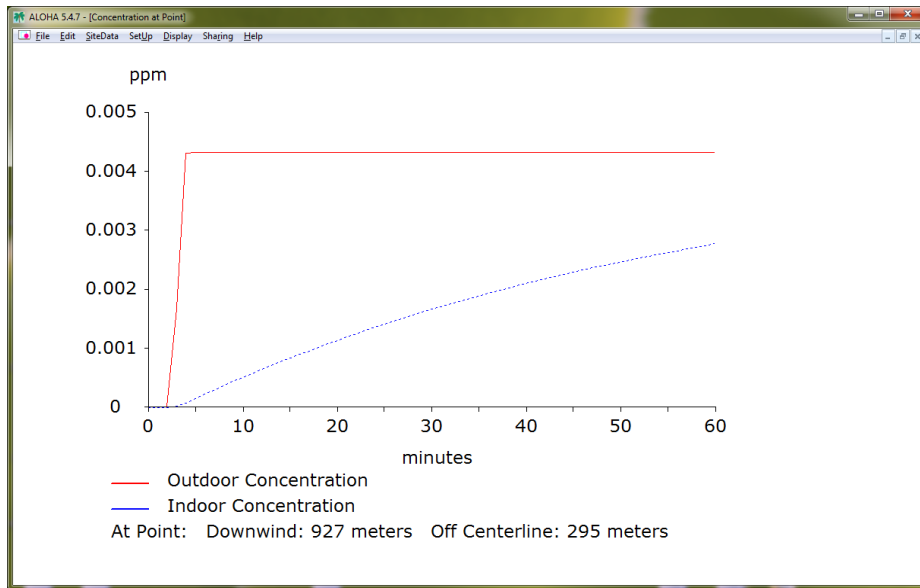
Нумеричка анализа и прорачун је извршен на основу максималних ено количина експлозивне материје и убојних средстава у процесу производње, лабораторије и складиштења. (www.epa.gov).

Сценарио 1. Емисија продуката приликом детонације експлозивних материја и убојних средстава у технолошком процесу производње:

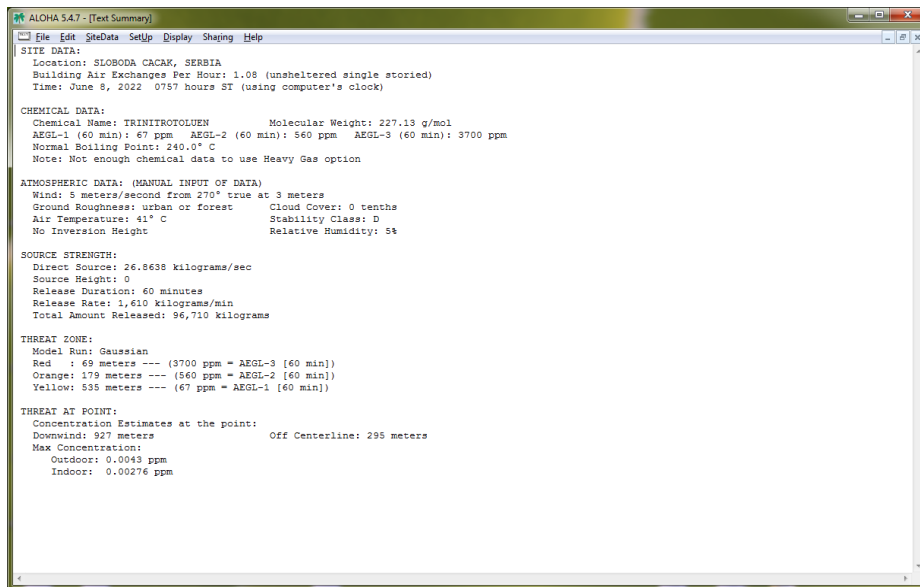
- **Сценарио 1.1. Детонација експлозивне материје у међуфазном технолошком процесу у просторији за просејавање и допрема експлозива**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади и надпритиском ударног таласа емисије продуката, на сликама 10.1., 10.2. и 10.3.



Слика 10.1. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије за просторију просејавање и допрема експлозива

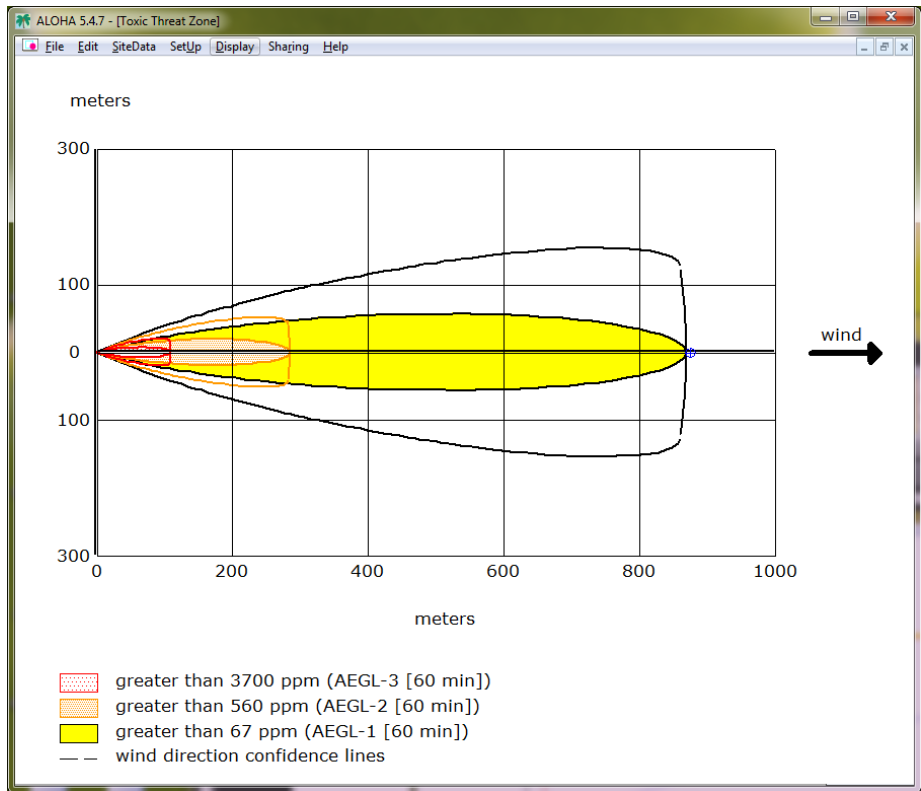


Слика 10.2. Графички приказ нова концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије за просторију просејавање и допрема експлозива

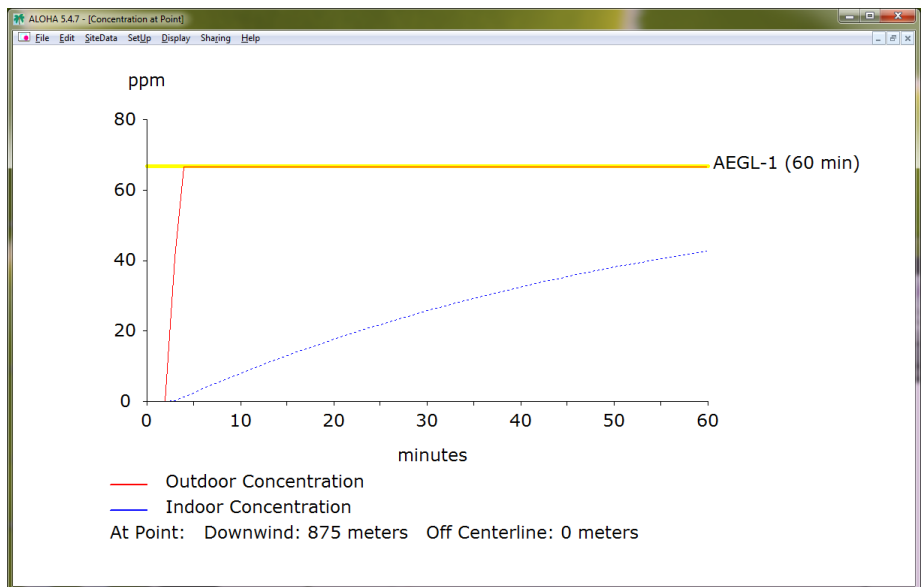


Слика 10.3. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације за просторију просејавање и допрема експлозива

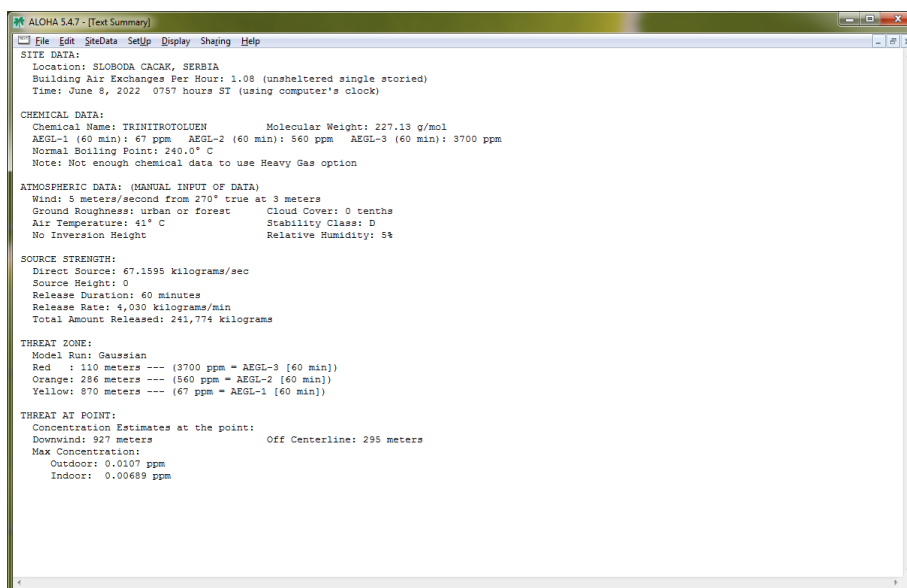
- **Сценарио 1.2. Детонација експлозивне материје у процесној хали**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади и надпритиском ударног таласа емисије продукта, на сликама 10.4., 10.5. и 10.6.



Слика 10.4. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у процесној хали

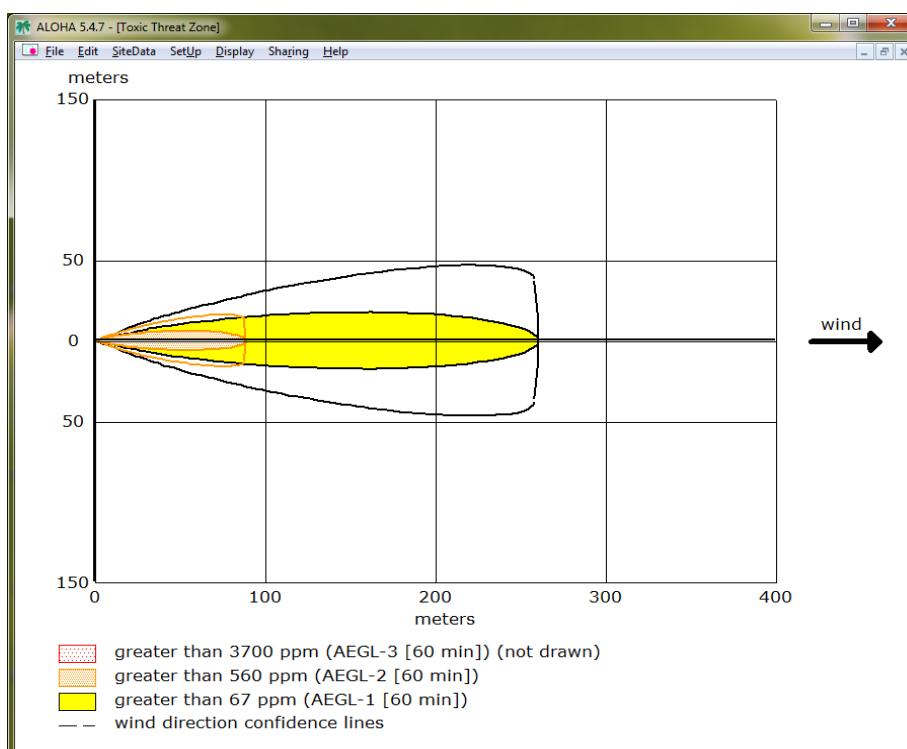


Слика 10.5. Графички приказ нова концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије у процесној хали

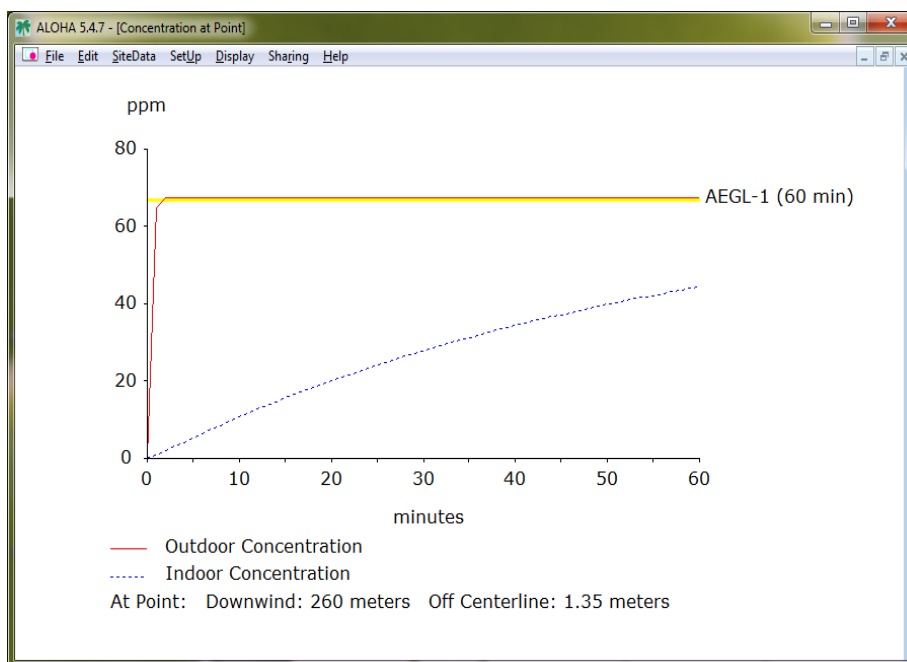


Слика 10.6. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у процесној хали

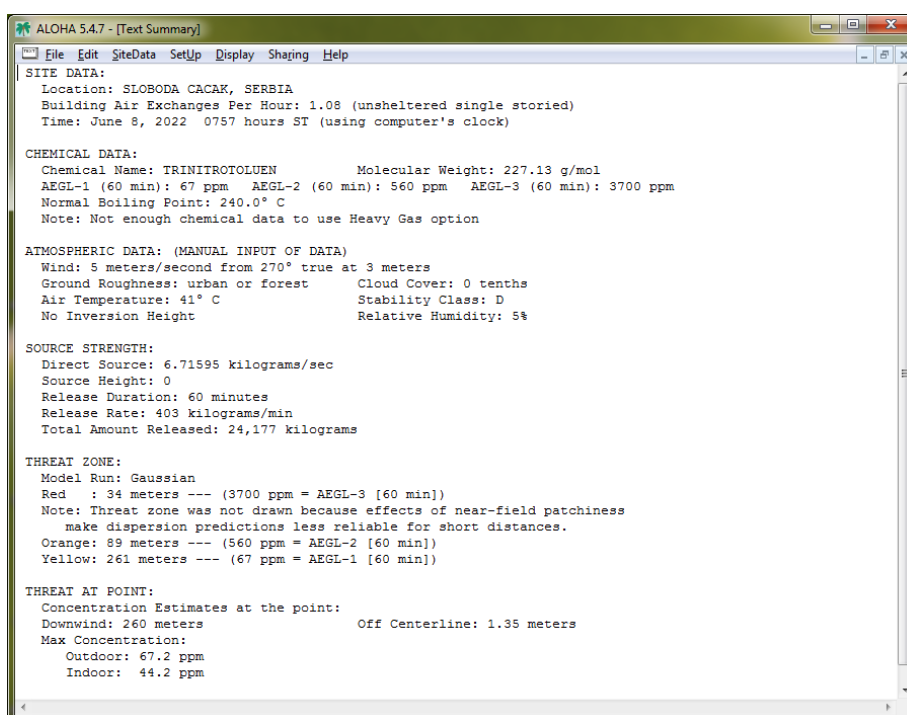
– *Сценарио 1.3. Детонација експлозивне материје у магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива*, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади и надпритиском ударног таласа и емисије продуката, на сликама 10.7., 10.8. и 10.9.



Слика 10.7. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива

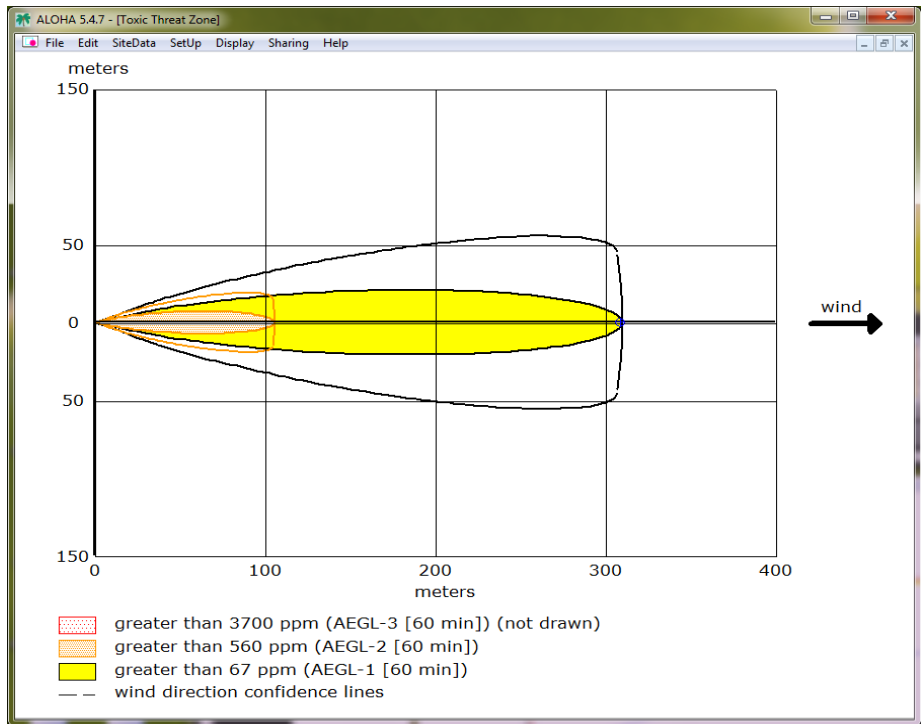


Слика 10.8. Графички приказ нова концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива

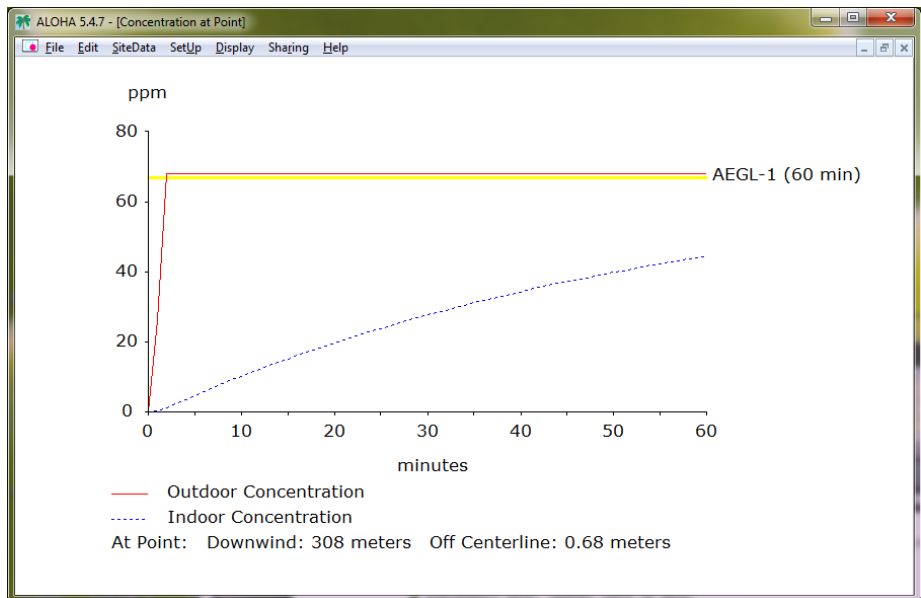


Слика 10.9. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у магацину експлозивних материја у складишном делу фабрике за шнековање експлозива

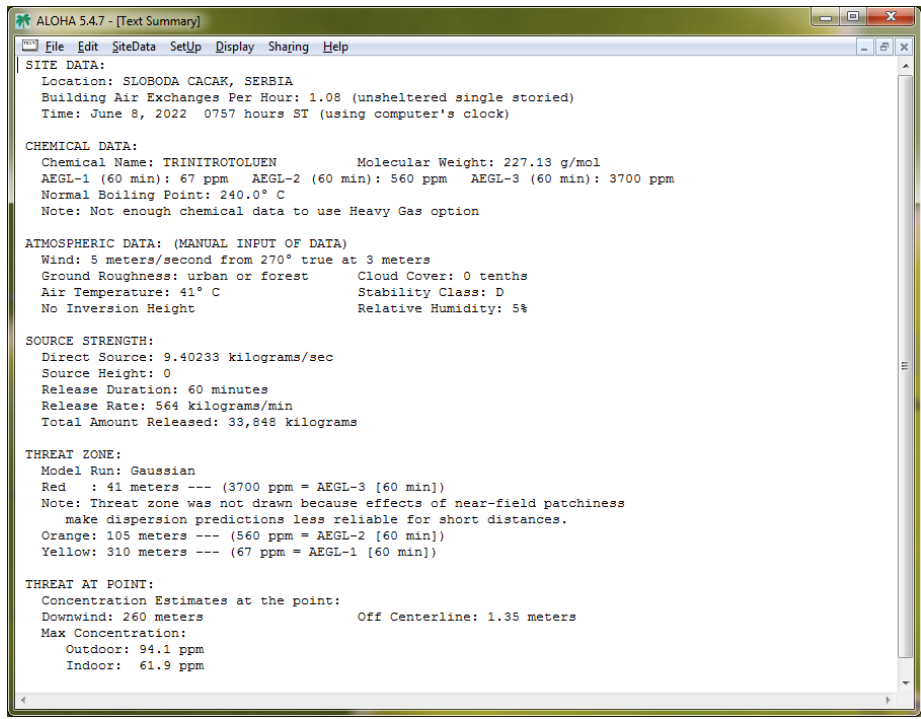
- **Сценарио 1.4. Детонација експлозивне материје у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласа емисије продукта, на сликама 10.10., 10.11. и 10.12.



Слика 10.10. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама

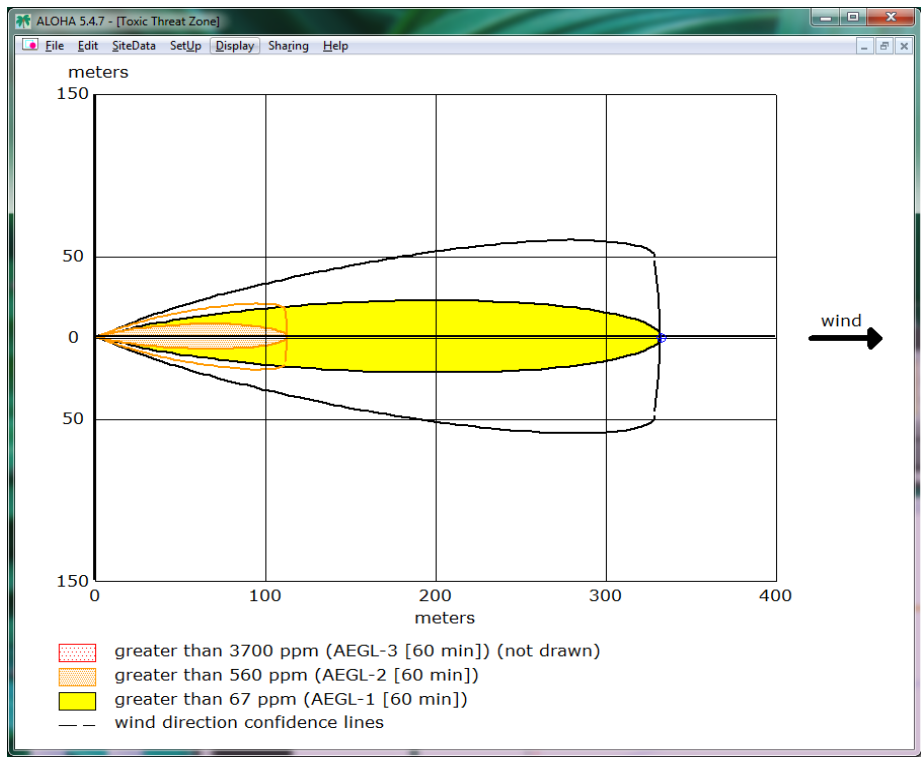


Слика 10.11. Графички приказ новог концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама

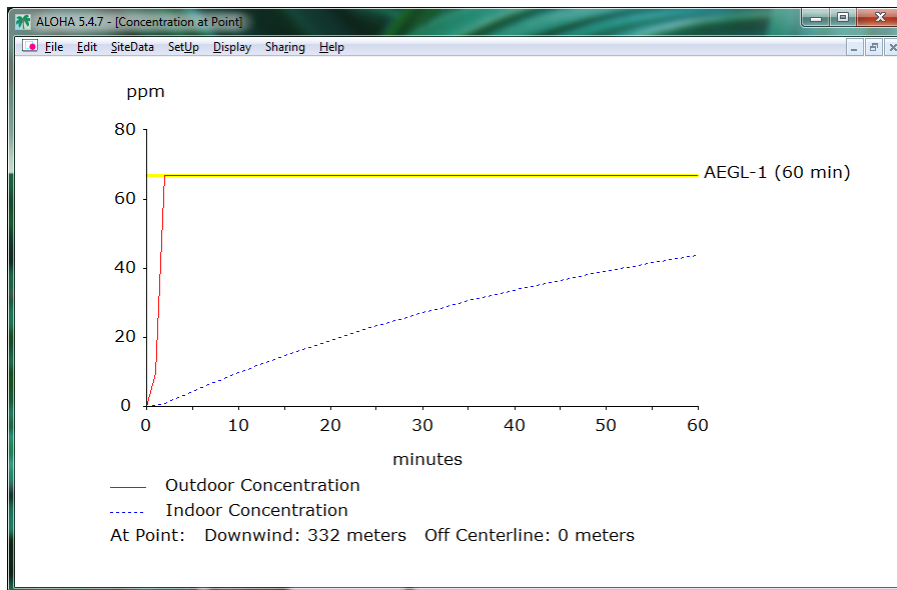


Слика 10.12. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за лабораторију позиција са експлозивним материјама

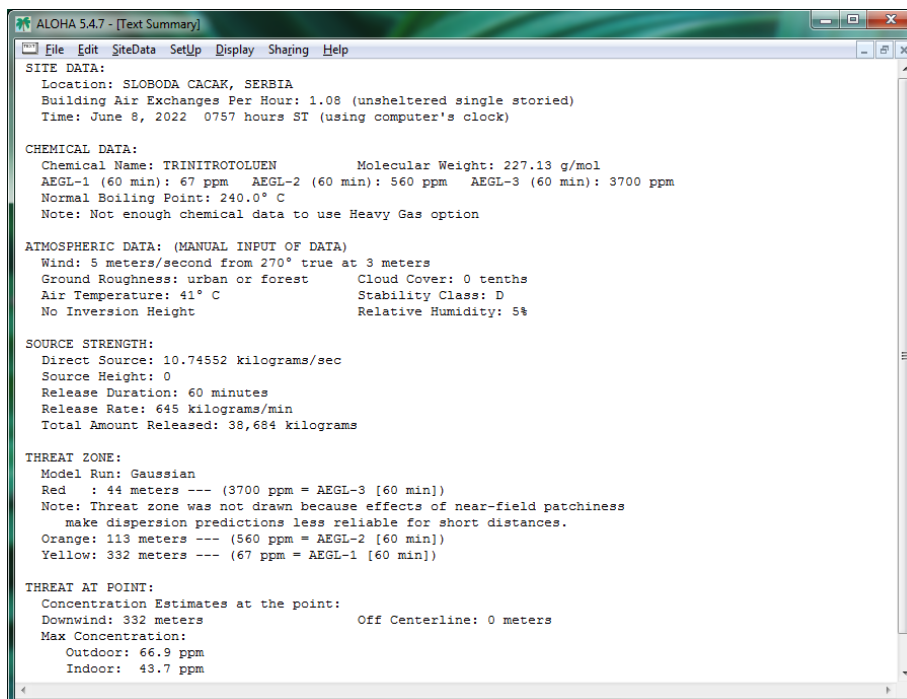
- *Сценарио 1.5. Детонација у погону за сечење експлозива*, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката, на сликама 10.13., 10.14. и 10.15.



Слика 10.13. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу погону за сечење експлозива

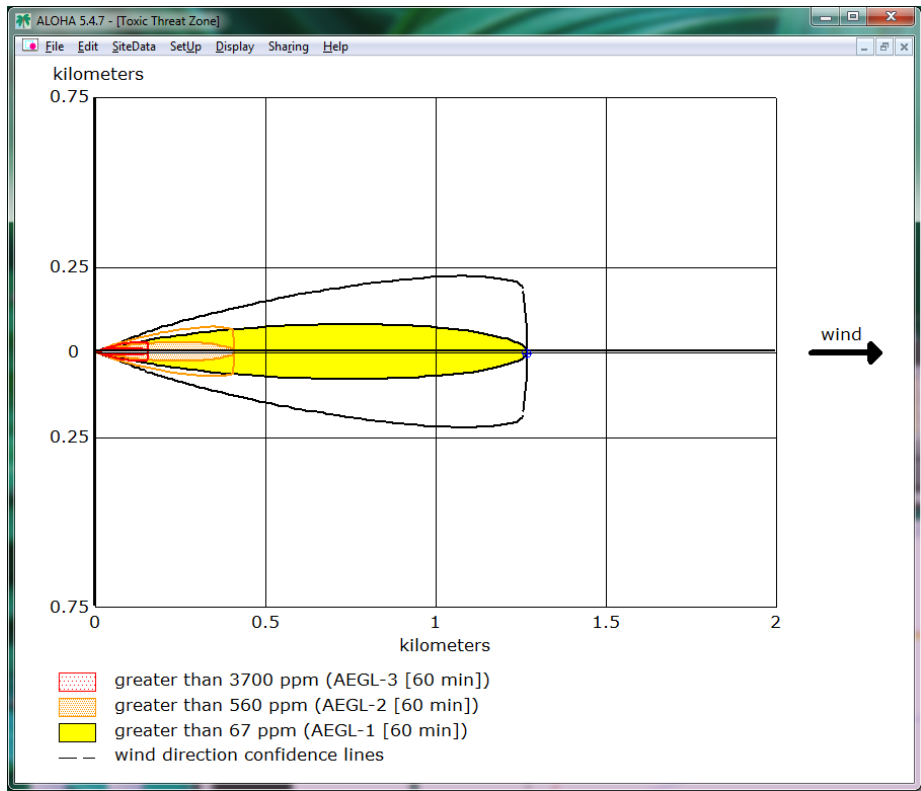


Слика 10.14. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у погону за сечење експлозива

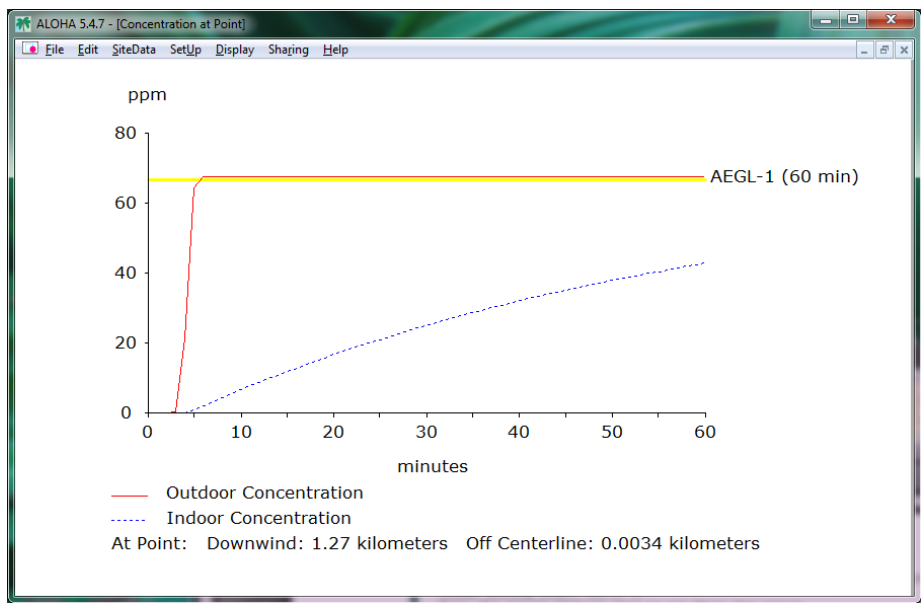


Слика 10.15. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за сечење експлозива

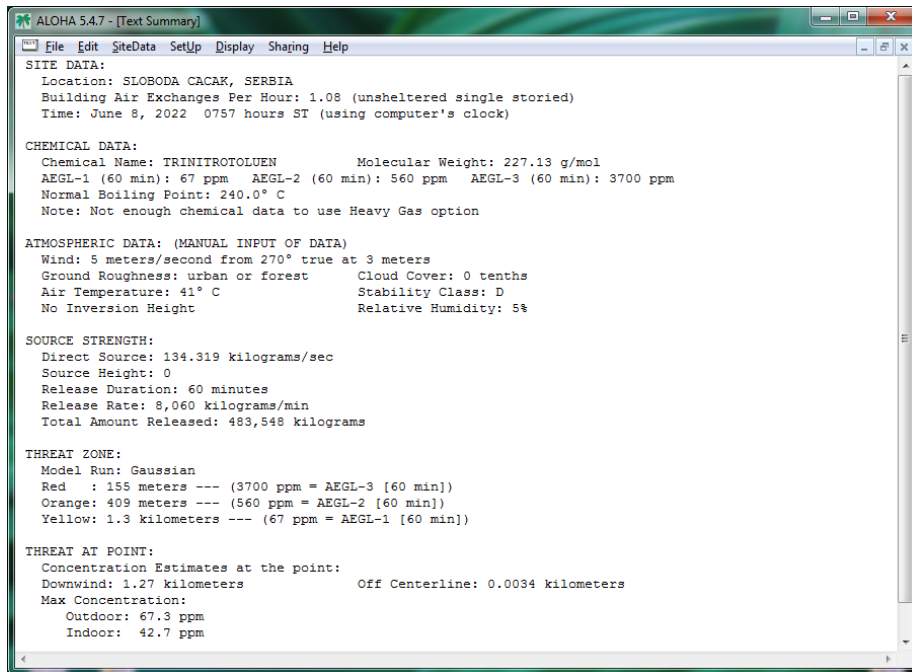
- *Сценарио 1.6. Детонација у дневном магацину експлозива*, са приказом ефекта дејства немо количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката, на сликама 10.16., 10.17. и 10.18.



Слика 10.16. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу дневном магацину експлозива

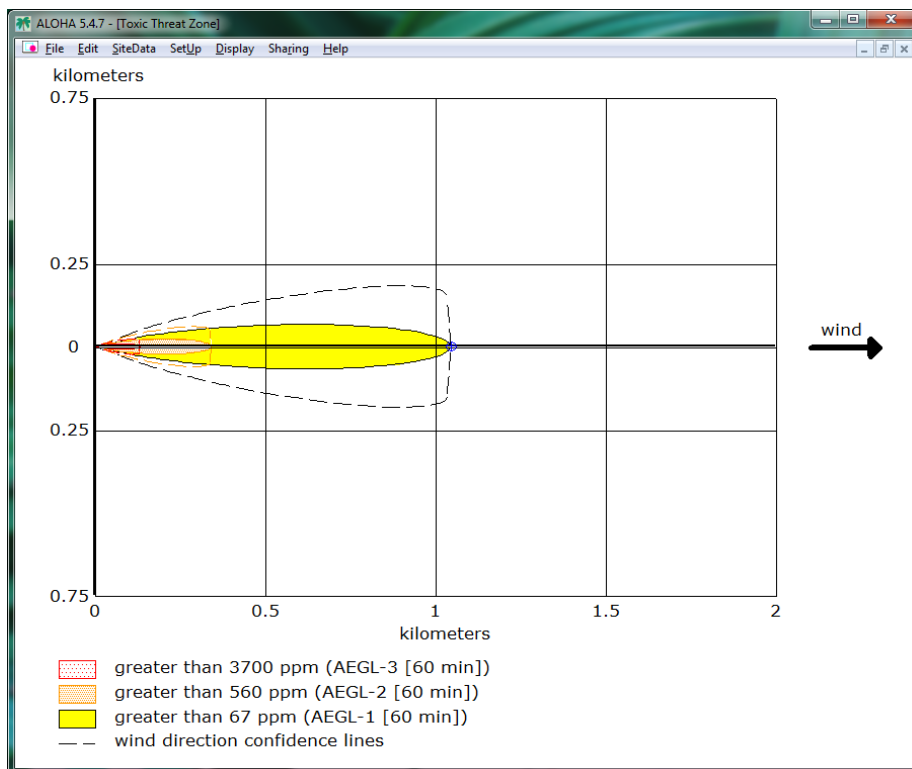


Слика 10.17. Графички приказ новаа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозијеу дневном магацину експлозива

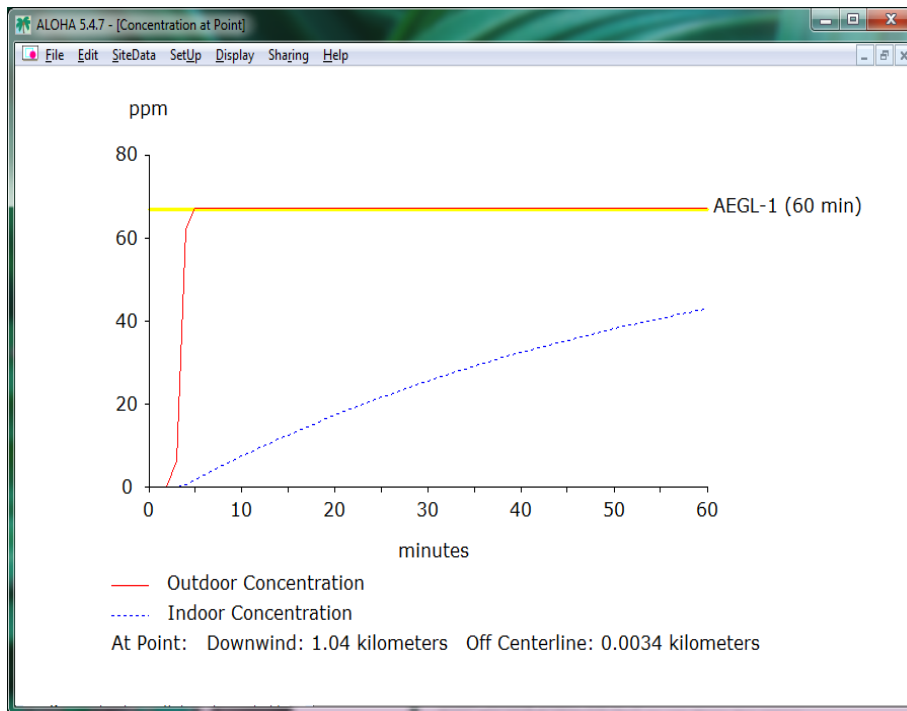


Слика 10.18. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у дневном магацину експлозива

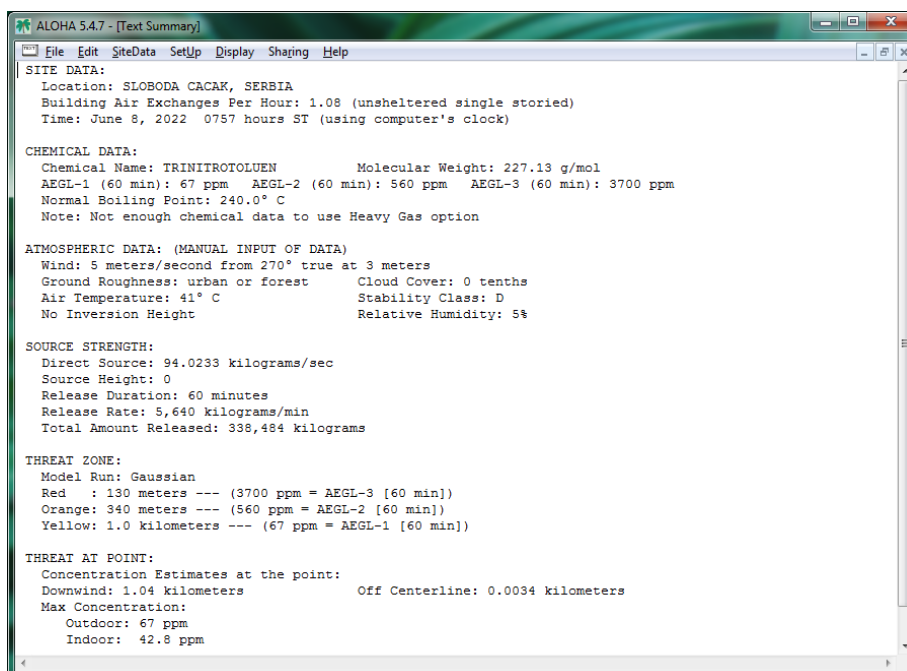
- *Сценарио 1.7. Детонација у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила*, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката, на сликама 10.19., 10.20. и 10.21.



Слика 10.19. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила

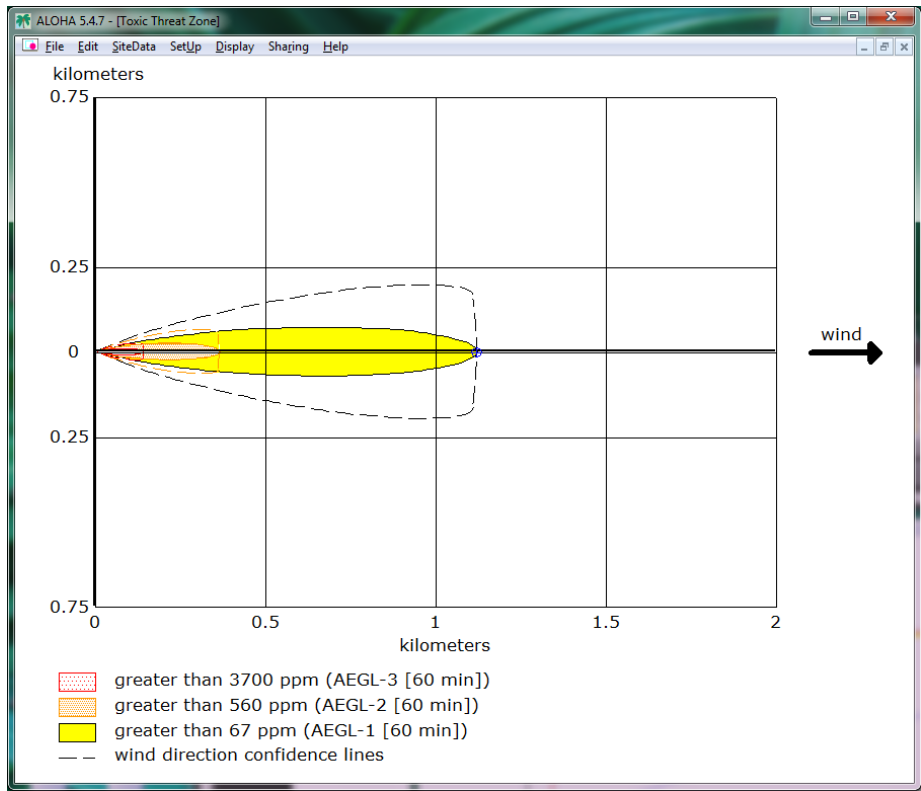


Слика 10.20. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије експлозије у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила

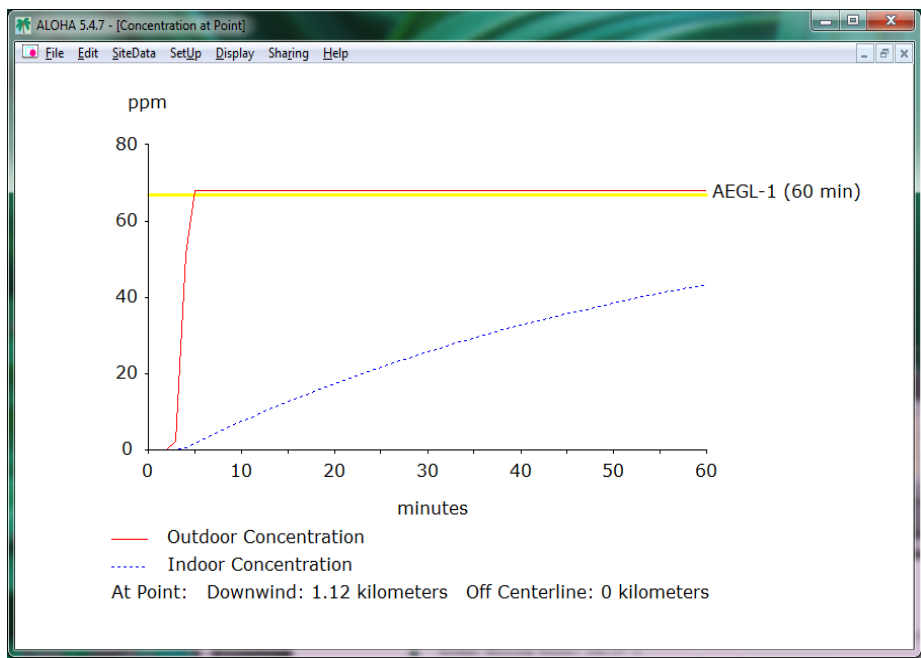


Слика 10.21. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозије у погону за лабораторију и фино чишћење пројектила

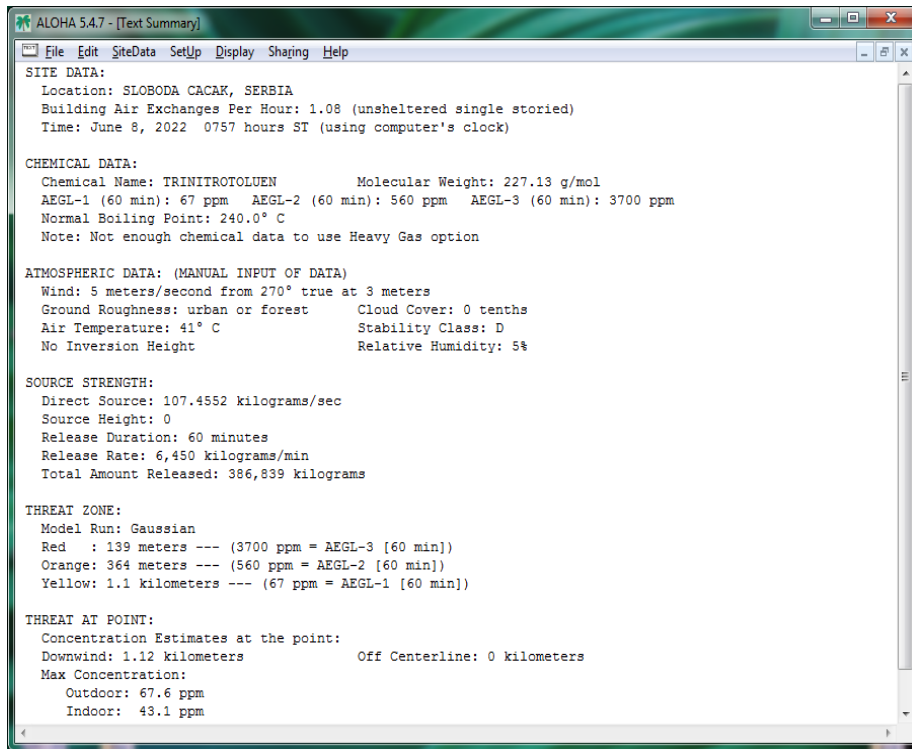
- **Сценарио 1.8. Детонација у погону за лакирање пројектила**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката, на сликама 10.22., 10.23. и 10.24.



Слика 10.22. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу погону за лакирање пројектила

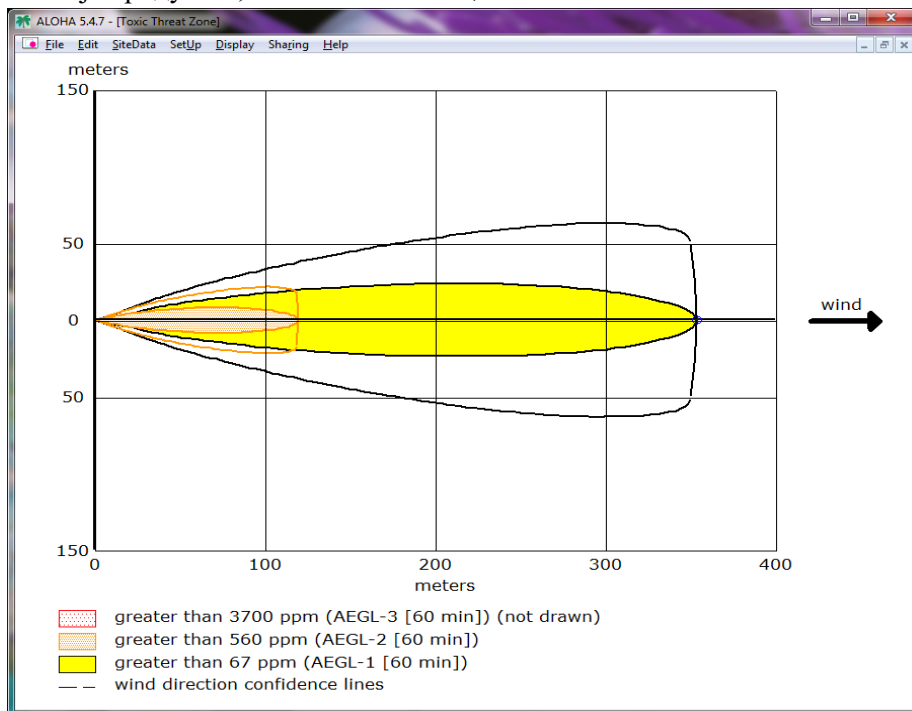


Слика 10.23. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у погону за лакирање пројектила

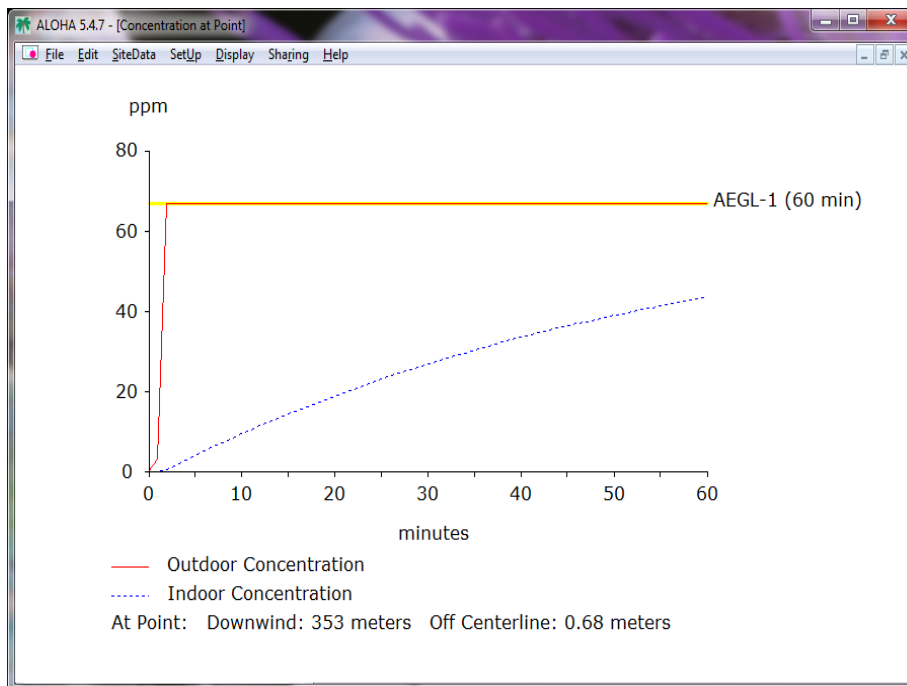


Слика 10.24. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за лакирање пројектила

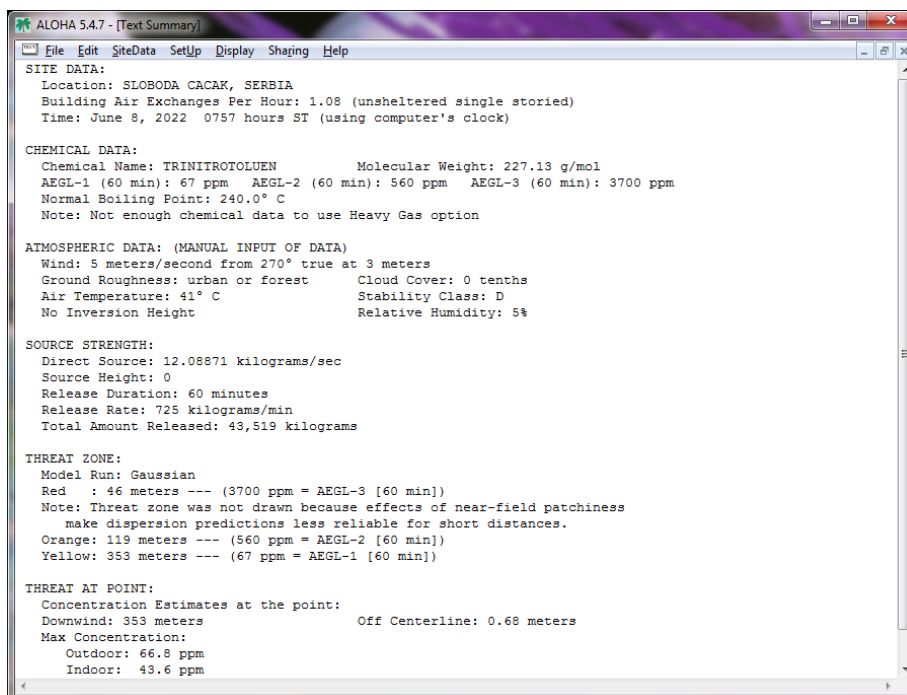
– *Сценарио 1.9. Детонација у дневном магацину упаљача и топовских каписли*, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласа и емисије продуката, на сликама 10.25., 10.26. и 10.27.



Слика 10.25. Зона дејства емисије у односу на центар експлозијеу дневном магацину упаљача и топовских каписли

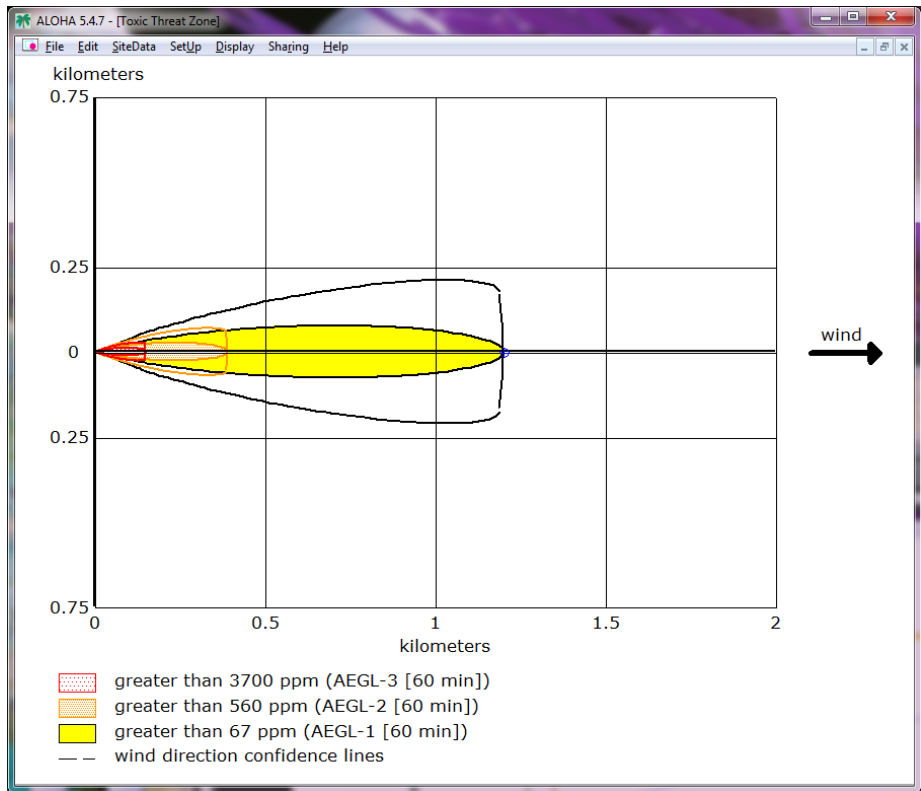


Слика 10.26. Графички приказ нивоа концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије у дневном магацину упаљача и топовских каписли

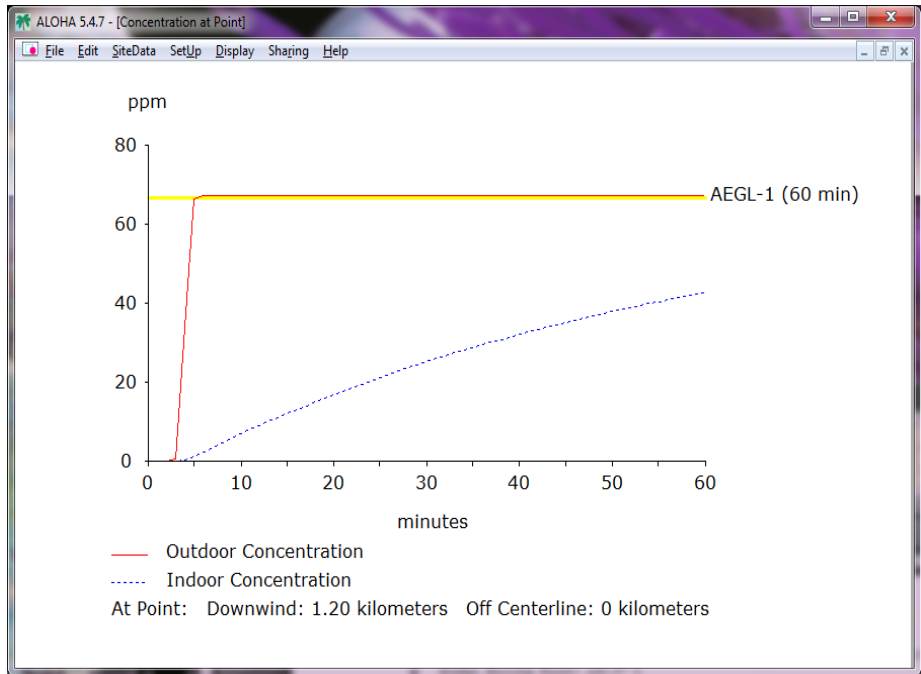


Слика 10.27. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у дневном магацину упаљача и топовских каписли

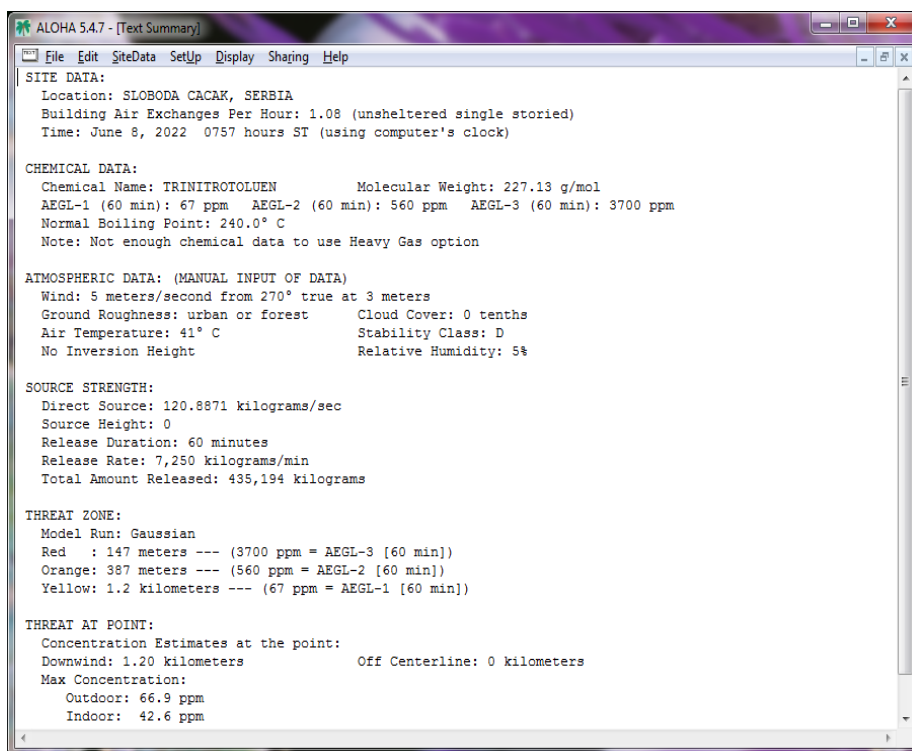
- *Сценарио 1.10. Детонација упогону за лабораторију наковање и комплетирање муниције, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продукта, на сликама 10.28., 10.29. и 10.30.*



Слика 10.28. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије погону за лабораторију паковање и комплетирање муниције

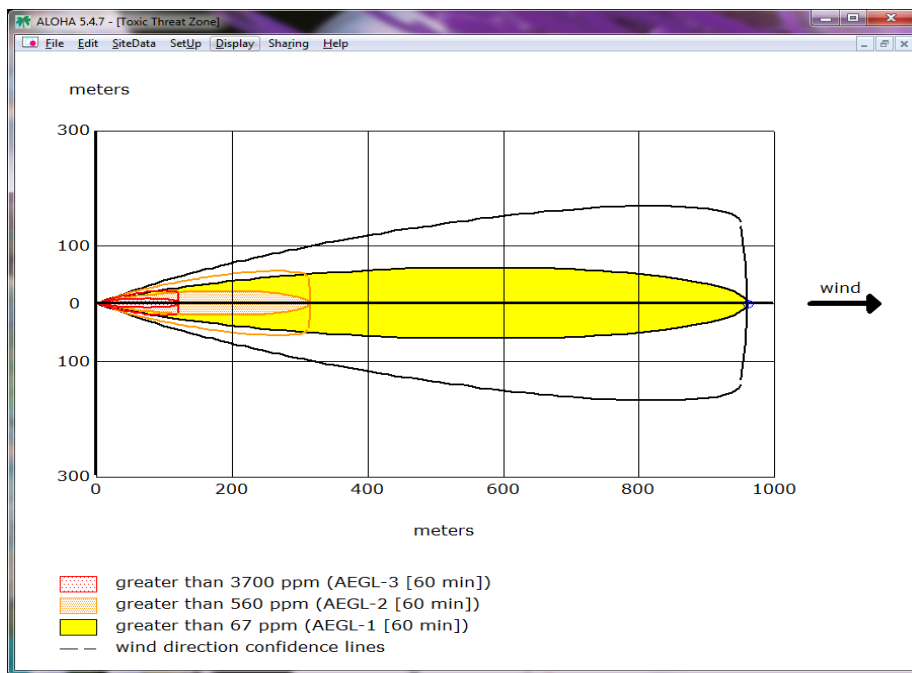


Слика 10.29. Графички приказ нивоа концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије погону за лабораторију паковање и комплетирање муниције

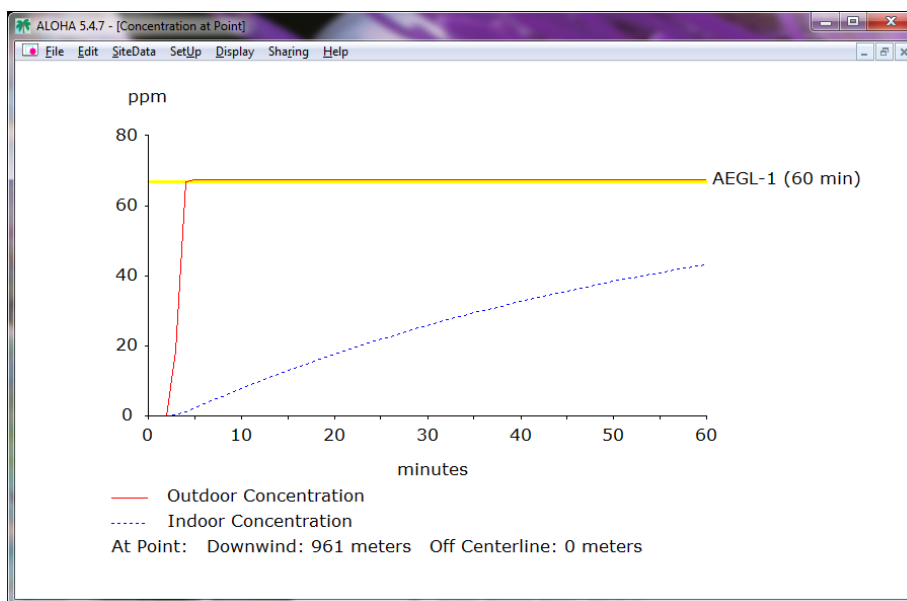


Слика 10.30. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у погону за лабораторију паковање и комплетирање муниције

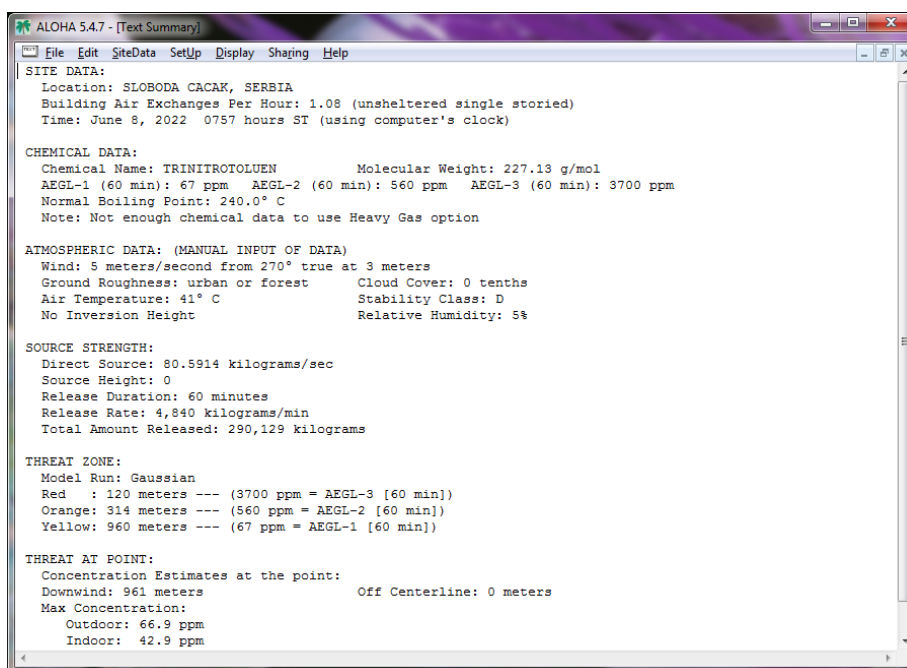
– *Сценарио 1.11. Детонација удневном магацину барута у барутних пуњења*, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката, на сликама 10.31, 10.32. и 10.33.



Слика 10.31. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије у дневном магацину барута у барутних пуњења

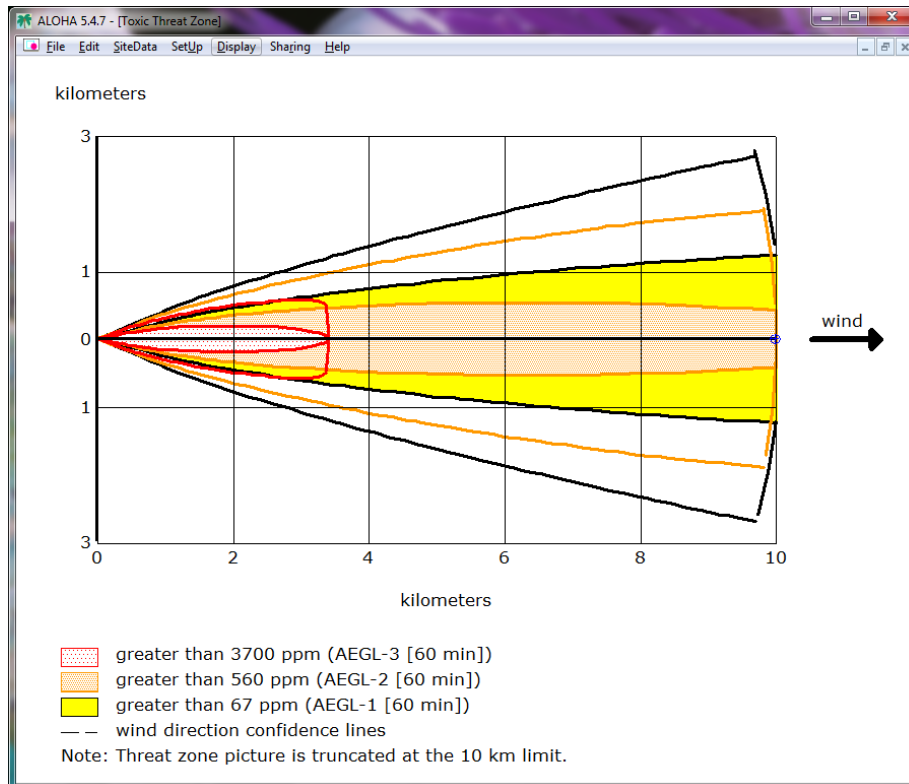


Слика 10.32. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије у дневном магацину барута у барутних пуњења

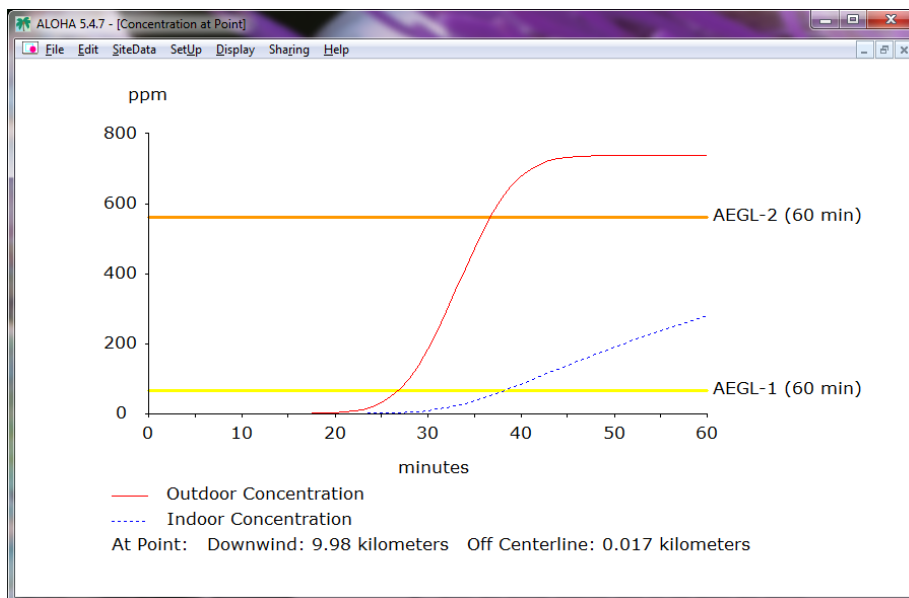


Слика 10.33. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације у дневном магацину барута у барутних пуњења

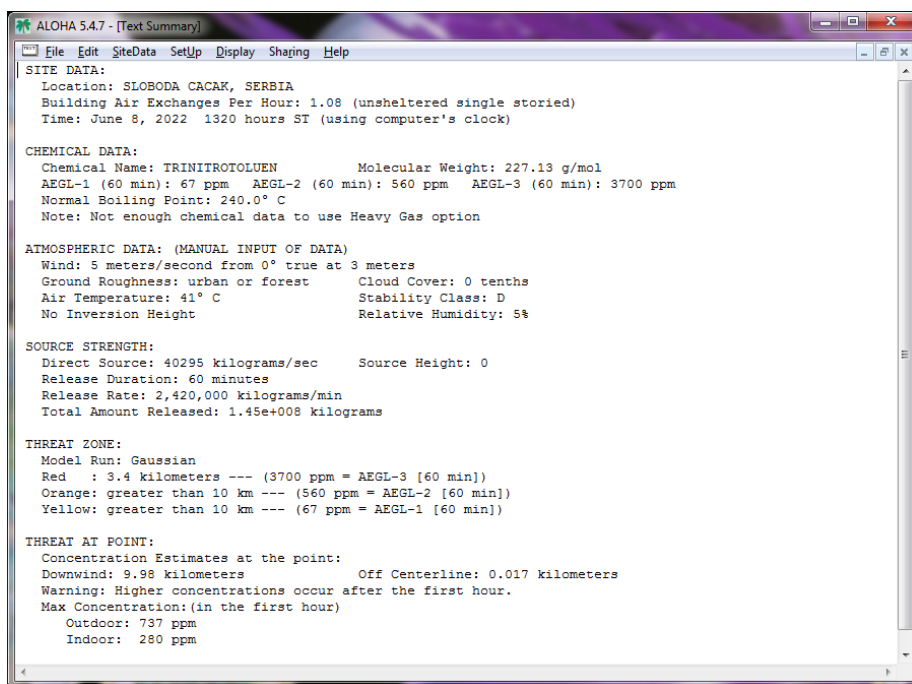
- *Сценарио 1.12. Детонација експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак*, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласа и емисије продуката, на сликама 10.34., 10.35. и 10.36.



Слика 10.34. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак



Слика 10.35. Графички приказ нивоа концентрације продуката у односу на удаљеност од центра експлозије експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак



Слика 10.36. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу Компаније „Слобода” а.д. Чачак

- **Сценарио 2. Емисија продуката приликом детонације у току испитивања и завршне контроле квалитета експлозивних материја и убојних средстава**
 - ✓ **Сценарио 2.1.: Детонација експлозивне материје приликом излагања на механичке утицаје, сандука са два артиљеријска метка калибра 155 mm са тренутно фугасним пројектилом и 3 kg нето количином експлозива**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката.
 - ✓ **Сценарио 2.2.: Детонација експлозивне материје приликом излагања на екстремне климатске услове, сандука са два артиљеријска метка калибра 155 mm са тренутно фугасним пројектилом и 3 kg нето количином експлозива**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 2.3.: Детонација експлозивне материје приликом испитивања на повећане притиске барутних метка калибра 155 mm са тренутно фугасним пројектилом и 3 kg нето количином експлозива**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 2.4.: Детонација експлозивне материје, приликом провере електричних карактеристиканаоруђу „Оркан” иракети 262 mmса 3 kg нето количине ракетног горива**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 2.5.: Детонација експлозивне материје у цеви оруђа са метком калибра 155 mm са тренутно фугасним пројектилом и 3 kg нето количином експлозива**,са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката,

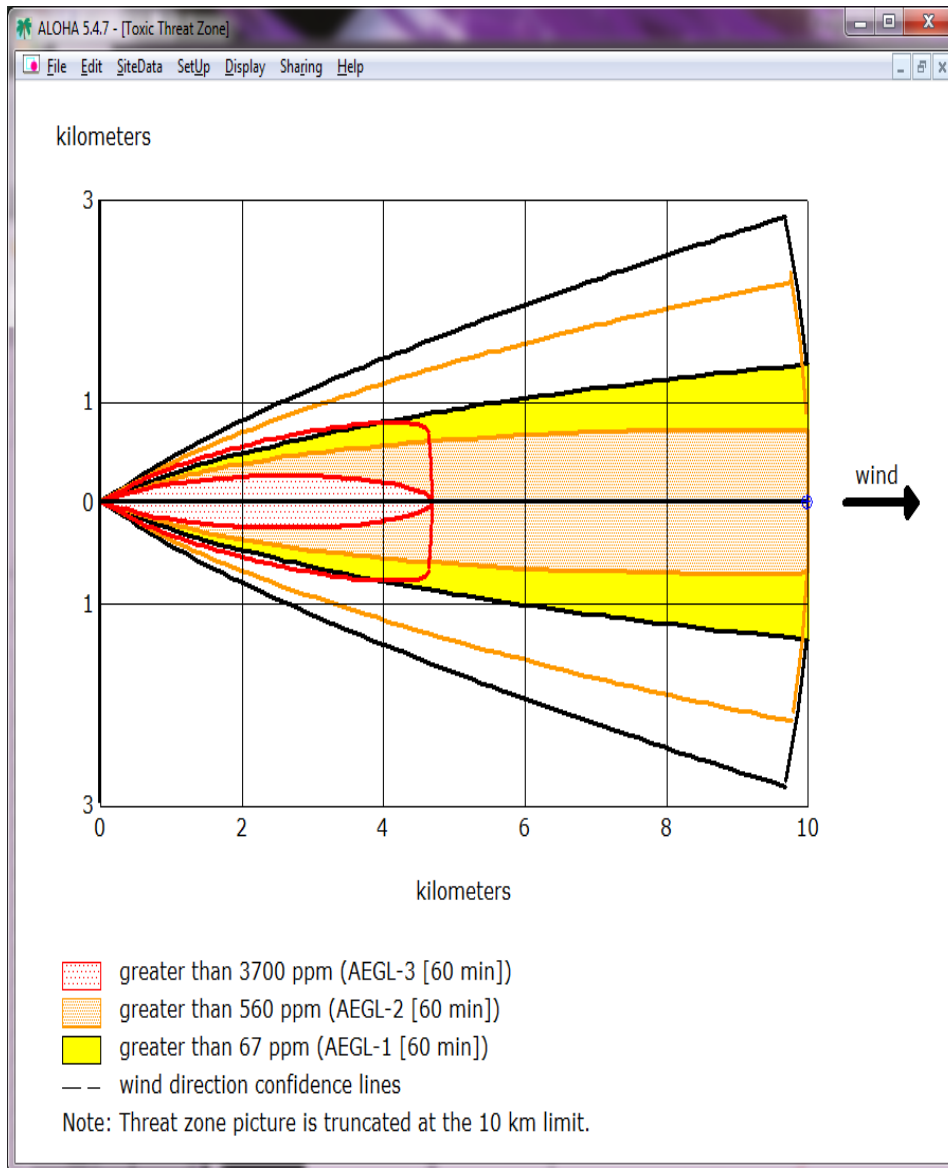
- ✓ *Сценарио 2.6.: Детонација експлозивне материје приликом статичког испитивања пробојности бојеве главе ракете „Маљутка” и 2,5kg нето количине експлозива, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката и*
- ✓ *Сценарио 2.7.: Детонација експлозивне материје приликом проналажења неексплодираног убојног средства, метак калибра 155 mm са тренутно фугасним пројектилом и 3 kg нето количином експлозива, приликом откопавања или транспорта неексплодираног убојног средства, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката.*

Сценарији за емисију продуката приликом детонације у току испитивања и завршне контроле квалитета експлозивних материја и убојних средстава, нису предмет ове докторске дисертације, због нето количине експлозивне материје која је занемарљива у односу на количине које су обрађенепо другим сценаријима.

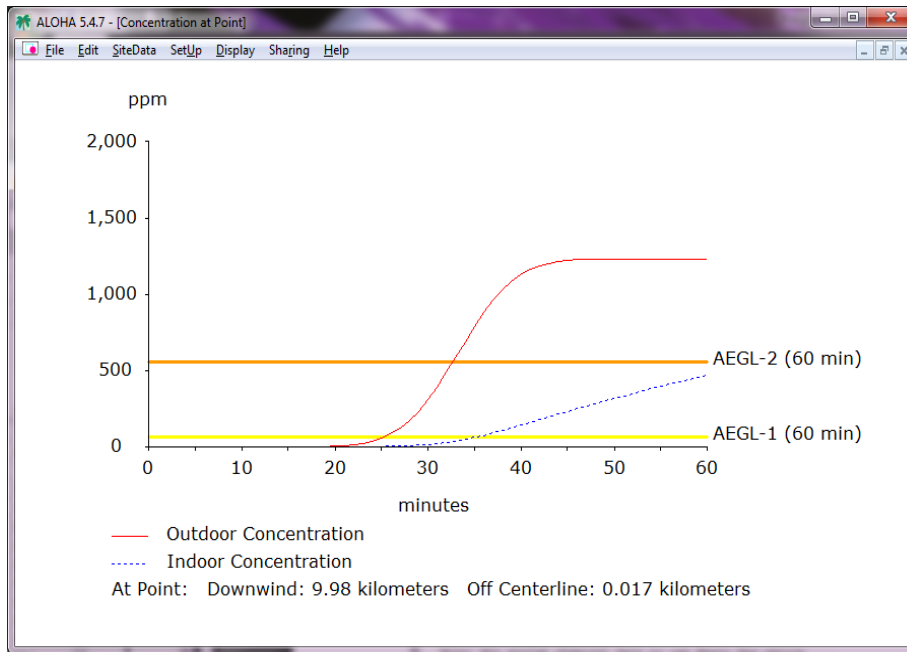
- **Сценарио 3. Емисија продуката приликом детонације ускладиштених експлозивних материја**
 - ✓ *Сценарио 3.1.: Детонација експлозивне материје у маси приликом samozапалења или диригованим иницирањем на отвореном простору, надземном магацину и подземном магацину, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, преносом детонације, надпритиском ударног таласаи емисије продуката,*
 - ✓ *Сценарио 3.2.: Детонација експлозивне материје у маси приликом неправилне манипулације, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, преносом детонације, надпритиском ударног таласаи емисије продуката и*
 - ✓ *Сценарио 3.3.: Детонација експлозивне материје у маси приликом удара грома, коришћења варничећег материја, коришћењем неприписне одеће и обуће или довођења спољњег извора енергије, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, преносом детонације, надпритиском ударног таласаи емисије продуката.*

Нумеричка анализа емисије продуката у случају удеса је вршена са максимално дозвољеном количином експлозивне материје и испоштованим мерама пиротехничке безбедности за типско складиште са највећим капацитетом складиштења експлозивних материја, односно убојних средстава. Карактеристичан пример за предвиђање ефеката и нивоа емисије продуката, путем нумеричке анализеи софтверску симулацију је одабрано складиште убојних средстава „Луњевица” у Општини Горњи Милановац.

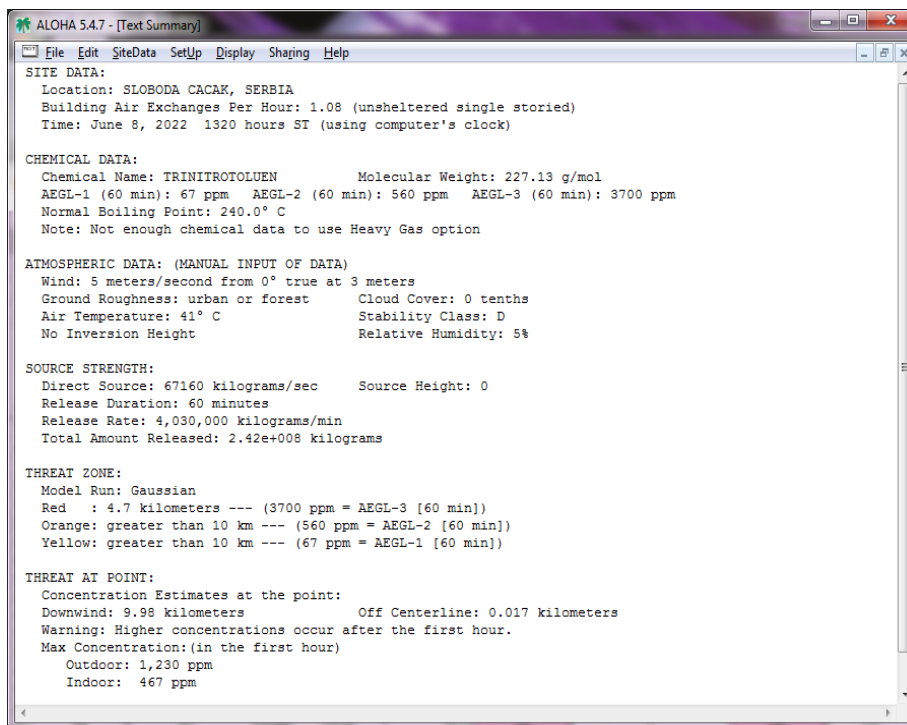
- ✓ *Сценарио 3.4. Детонација експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласаи емисије продуката, на сликама 10.37., 10.38. и 10.39.*



Слика 10.37. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава

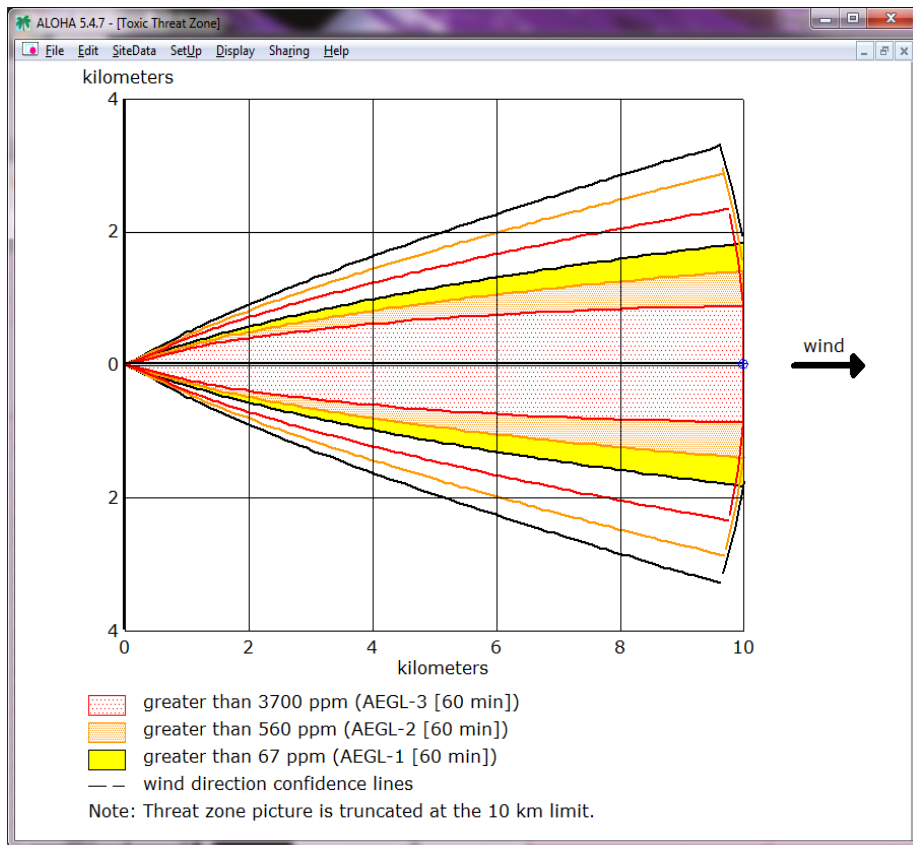


Слика 10.38. Графички приказ нивоа концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава

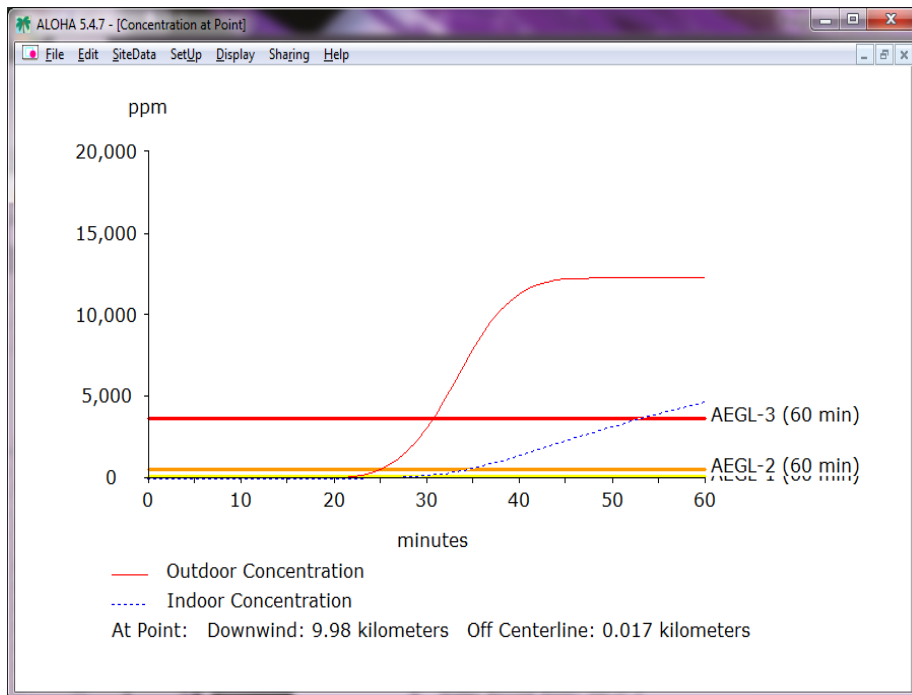


Слика 10.39. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозије експлозивне материје или убојних средстава у магацину убојних средстава

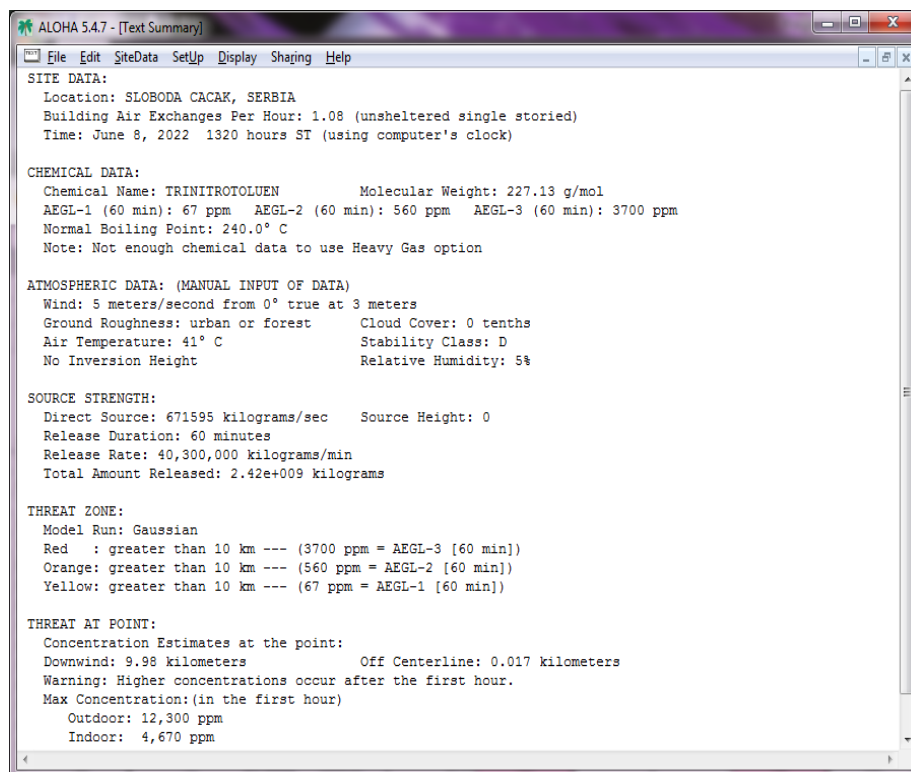
- ✓ **Сценарио 3.5. Детонација експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласа и емисије продукта, на сликама 10.40., 10.41. и 10.42.



Слика 10.40. Зона дејства емисије у односу на центар експлозије експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава



Слика 10.41. Графички приказ нивоа концентрације продукта у односу на удаљеност од центра експлозије експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава



Слика 10.42. Улазни подаци и атмосферски услови под којима је дошло до детонације експлозивне материје или убојних средстава у складишту убојних средстава

- **Сценарио 4. Емисија продуката приликом детонације експлозивних материја у транспорту**
 - ✓ **Сценарио 4.1. Детонација експлозивне материје или убојних средстава приликом транспорта**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 4.2. Детонација приликом транспорта импровизованих убојних средстава**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 4.3. Детонација експлозивне материје приликом транспорта неексплодираних убојних средстава**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 4.4. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта и пренос детонације на друго возило које транспортује експлозивне материје или убојна средства**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 4.5. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта и пренос детонације на теретно возило са цистерном у којој се налази опасна материја**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади и надприском ударног таласаи емисије продуката,
 - ✓ **Сценарио 4.6. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта ваздухопловом или при паду ваздухоплова**, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,

- ✓ *Сценарио 4.7. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта бродом, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,*
- ✓ *Сценарио 4.8. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта возом на отвореној прузи или у тунелском пролазу, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,*
- ✓ *Сценарио 4.9. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта и пренос детонације на Станицу за складиштење погонског горива, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката и*
- ✓ *Сценарио 4.10. Детонација експлозивне материје у маси приликом транспорта и пренос детонације на остала возила, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката.*

Сценарији за емисију продуката приказом ефекта и зонама распрострања, детонацијом максимално дозвољене нето количине експлозивне материје или убојних средстава на транспортном возу у критичној тачки поред Станице за снабдевање горивом, теретног возила са опасном материјом и у режиму саобраћаја са највећом могућом фреквенцијом, нису предмет ове докторске дисертације, збогу чија је течне експлозивне материје, као што је погонско гориво које није предмет ове студије и нето количине експлозивне материје која је занемарљива у односу на количине које су обрађено другим сценаријима.

– **Сценарио 5. Емисија продуката приликом употребе експлозивних материја**

- ✓ *Сценарио 5.1. Детонација експлозивне материје приликом гађања са артиљеријским и ракетним пројектиlima јединачном и рафалном паљбом, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади и надприском ударног таласаи емисије продуката и*
- ✓ *Сценарио 5.2. Детонација експлозивне материје приликом гађања из ваздухоплова авио бомбама и ракетама јединачном и рафалном паљбом, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади и надприском ударног таласаи емисије продуката.*

Сценарији за емисију продуката приликом детонације у току испитивања и завршне контроле квалитета експлозивних материја и убојних средстава, нису предмет ове докторске дисертације, због нето количине експлозивне материје која је занемарљива у односу на количине које су обрађено другим сценаријима.

– **Сценарио 6. Емисија продуката приликом уништавања експлозивних материја**

- ✓ *Сценарио 6.1. Детонација експлозивне материје приликом уништавања на отвореном простору, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надприском ударног таласаи емисије продуката,*
- ✓ *Сценарио 6.2. Спаљивање експлозивне материје на отвореном простору приликом уништавања, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, преносом детонације, надприском ударног таласаи емисије продуката,*
- ✓ *Сценарио 6.3. Спаљивање експлозивне материје на отвореном простору приликом уништавања амбалаже које садрже експлозивну материју, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, преносом детонације, надприском ударног таласаи емисије продуката и*
- ✓ *Сценарио 6.4. Детонација експлозивне материје на отвореном простору приликом уништавања неексплодираних убојних средстава и експлозивних материја, са приказом*

ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, преносом детонације, надприском ударног таласа и емисије продуката.

Сценарији за емисију продуката приликом детонације у току испитивања и завршне контроле квалитета експлозивних материја и убојних средстава, импровизованих експлозивних направа и амбалажа које су запрљане експлозивним материјама и за уништавање експлозивних материја и убојних средстава по једној фугаси у количини од 60 kg нето количине експлозива или за спаљивање експлозивне материје у количини од 50 kgна уређеном простору нису предмет ове докторске дисертације, због нето количине експлозивне материје која је занемарљива у односу на количине које су обрађенепо другим сценаријима.

Нумеричка анализа за студије случаја детонације је вршена, у складу са максимално дозвољеним количинама експлозивне материје, убојних средстава у процесу производње или складишту убојних средстава.

На основу добијених резултата, предикцијом емисије, према различитим сценаријима може се закључити да:

- вредности нивоа концентрације продуката емисије *су веће на отвореном* него у затвореном простору,
- вредности нивоа концентрације продуката емисије пропорционално *опадају* у односу на удаљеност од центра експлозије,
- вредности нивоа концентрације продуката емисије *су пропорционални* иницираној нето количини експлозивне материје и атмосферским условима и
- вредности нивоа концентрације продуката емисије *су највеће у првих 60 минута* од тренутка иницијације експлозивне материје.

Наведене тврдње су доказане и у наредним поглављима и поткрепљене добијеним резултатима.

Пубцхем-Наме: Претрага нпр . Тамокифен Толцапоне Вориностат Троглитаzone Аспирин
 Цаноницал Смилес: осмехује се нпр . C1=CC(=CC=C1)C(=O)N

Овде можете добити предвиђање токса за било које улазно једињење:

Молимо изаберите све додатне моделе за предвиђање:
(Акутна токсичност се увек израчунава, за сваки други модел може бити потребно око 10 секунди)

Токсичност органа

Хепатотоксичност

Крајње тачке токсичности

Карциногеност Имунотоксичност Мутагеност Цитотоксичност

Ток21 сигнални путеви нуклеарног рецептора

Рецептор арил угљоводоника (AhR)
 андрогени рецептор (AR)
 Домен везивања лиганда рецептора андрогена (AR-ЛБД)
 Ароматаза
 Алфа рецептор естрогена (ER)
 Домен везивања лиганда рецептора естрогена (ER-ЛБД)
 Гама рецептор активиран пролифератором пероксизома (ППАР-гама)

Ток21 Путеви одговора на стрес

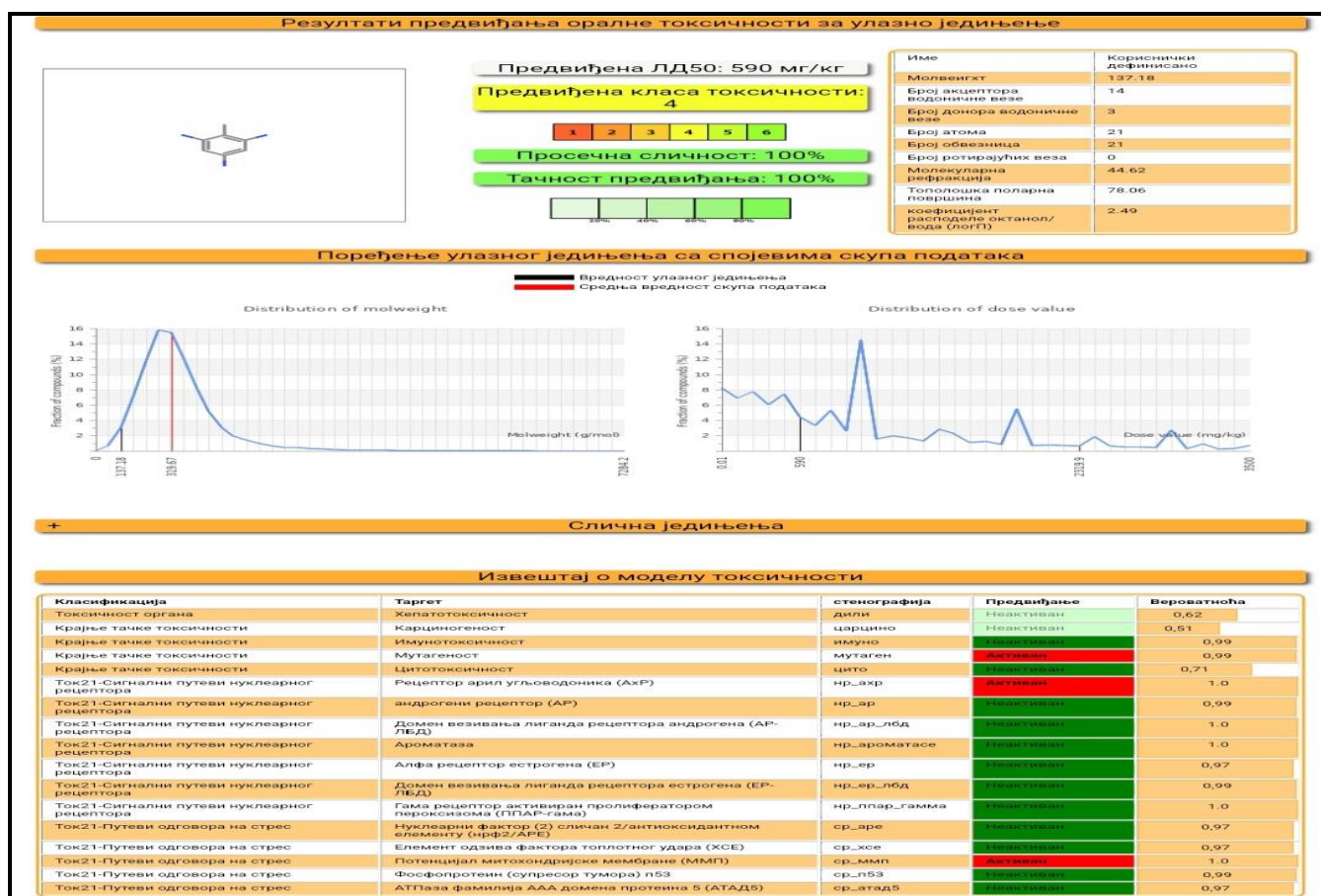
Нуклеарни фактор (2) сличан 2/антиоксидантном елементу (нрф2/APE)
 Елемент одзива фактора топлотног удара (ХСЕ)
 Потенцијал митохондријске мембране (ММП)
 Фосфопротеин (супресор тумора) p53
 ААА домен породице АТПазе који садржи протеин 5 (АТАД5)

Одабрани молекул: Кориснички дефинисано

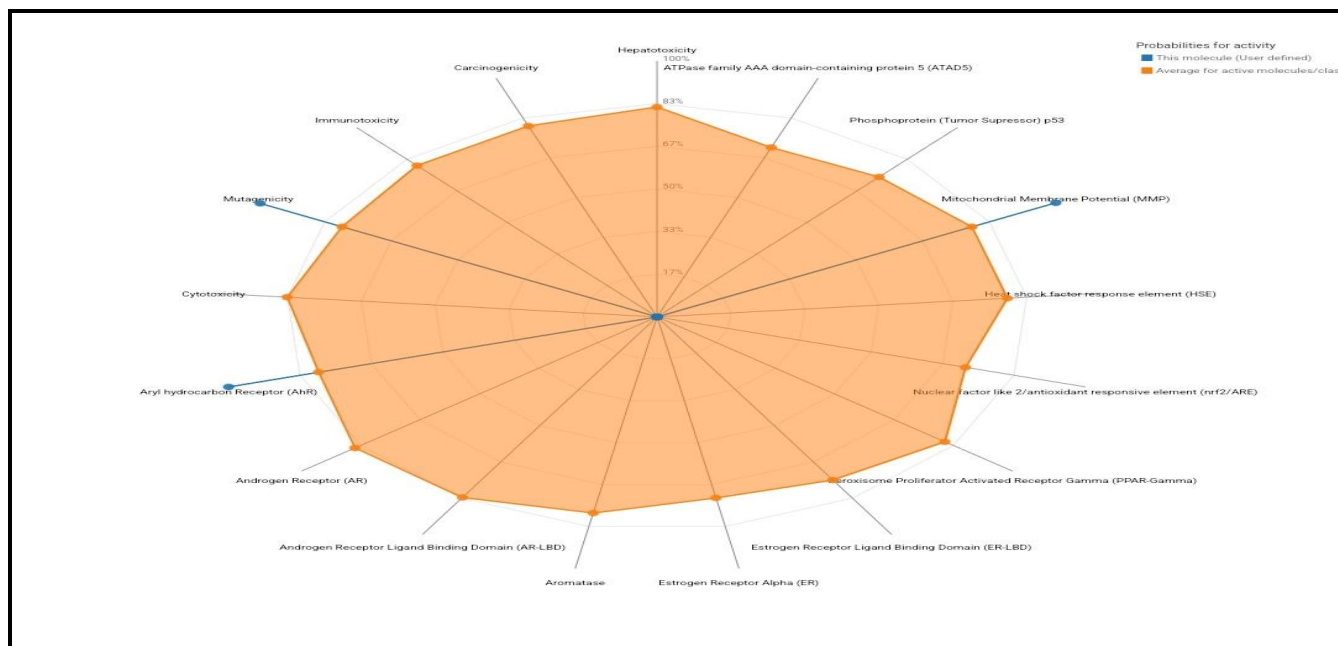
Да бисте учитали молекул кликните на . Брише кликните атоме и брише све на платну.

ChemDoodle®

Слика 10.43. Слика улазног интерфејса за предвиђање токсичности тринитротолуена – TNT (www.chemdoodle.com)



Слика 10.44. Приказ излазног интерфејса са прорачунатим подацима о токсичности тринитротолуена – TNT (www.chemdoodle.com)



Слика 10.45. Приказ излазног интерфејса са прорачунатим вредностима токсичности по врстама болести за тринитротолуен–TNT (www.chemdoodle.com)

У овом раду за процену последица удеса користи се програм „**ALOHA**”. Моделовање атмосферске дисперзије опасних материја извршено је применом рачунарског софтвера „ALOHA”¹ (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) верзије 5.4.4. који је развила USEPA - Агенција за заштиту животне средине Сједињених Америчких Држава.

Поред наведеног користиће се прорачунске методе ударног таласа у случају експлозија пиротехничких смеша у магацинима, и њихов утицај на терастични екосистем.

Обзиром на дејство могуће експлозије (надпритисак ударног таласа, топлотно дејство, пожар, парчадно дејство и десјтво фрагмената), на околину опасног објекта и животну средину, простор око опасног објекта дели се на:

- **зону тешких оштећења** у којој се детонација преноси директно,зону тешких оштећења у којој се руше носећи зидови услед дејства ударног таласа, и уништава природа, ломи дрвеће и летално делује на животињски свет,
- **зону средњих оштећења**у којој се руше лаки преградни зидови, кровови, надстрешнице, дрвеће и жбуње мањег обима, а животиње бивају теже повређене,
- **зону лаких оштећења** у којој се ломе прозорска стакла и цреп, уништава лишће са грана дрвећа а животиње бивају лакше повређене и
- **сигурну зону** у којој долази до делимичног оштећења прозора и младих дрвећа мањег обима као и појединих јединки животињског света.

Распоред и капацитети објеката за производњу, лабораторију, испитивање, складиштење и уништавање фабрике за производњу експлозивних материја су конструисани и изграђени на безбедносним растојањима која су прописана у Правилнику². Прорачун експлозивних материја на еквивалентну вредност тротила (TNT) врши се по следећем обрасцу:

$$M = C \cdot Q \cdot 10^{-3} \quad (10.1)$$

где је:

- M – еквивалентна количина експлозива тротила (TNT) у килограмима,
- C – количина експлозива у килограмима,
- Q – топлота експлозије (kcal/kg).

Растојање између укопаних погона са експлозивним материјама, међусобно, до саобраћајница, као и до неопасног објекта у кругу фабрике за производњу експлозивних материја и убојних средстава или складишта убојних средстава, врши се по следећем обрасцу:

$$R = f \cdot \sqrt[3]{M} \quad (10.2)$$

где је:

- R – растојање у метрима,
- f – фактор сигурности, (приказан у Табели 10.1.),
- M – еквивалентна количина експлозива тротила (TNT) у килограмима (kg).

У Табели 10.1., приказане су вредности коефицијента сигурности за прорачун утицаја ударног таласа на објекте инфраструктуре.

¹ <https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>.

² Правилник о заштити на раду при изради експлозива и барута и манипулисању са експлозивима и барутима („Службени лист СФРЈ“, бр. 15/1965 и 28/1966).

Табела 10.1. Фактори сигурности

Намена фактора сигурности	Износ фактора сигурности
Удаљеност укопаних магацина међусобно	1,25
Удаљеност до неопасног објекта фабрике	8
Удаљеност до друмских саобраћајница	5
Удаљеност до железничких саобраћајница	7
Зона тешких оштећења	3
Зона средњих оштећења	4
Зона лаких оштећења	8
Зона сигурности	50

Складиштење експлозивних материја или убојних средстава се врши у разним типским магацинима са дефинисаним међулинијским и међумагацинским растојањем да би се вероватноћа катастрофалних исхода избегла и свела на минимум. Најотпорнији и најбезбеднији магацини су подземни или укопани магацини са армираном бетонском конструкцијом, као што је приказано на Слици 10.46.



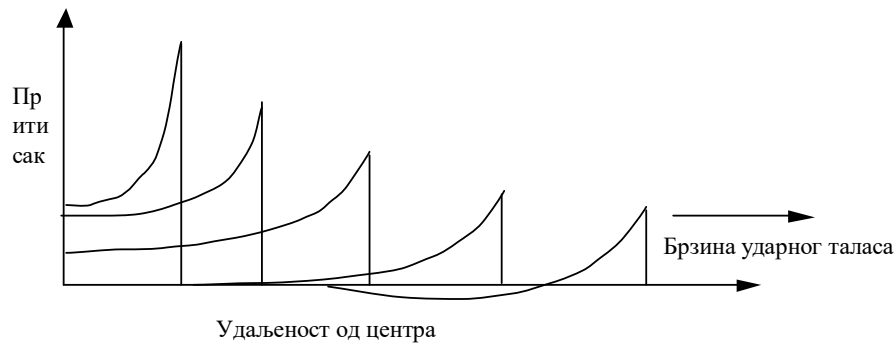
Слика 10.46. Линијски распоред магацина за смештај убојних средстава типа „ИГЛО” ([IATG International Ammunition Technical Guideline, 2011](#))

Транспорт опасних материја до фабрика одбрамбене индустрије за производњу експлозива врши се у складу са прописима о превозу опасних терета у друмском саобраћају АДР³, стим што се готове експлозивне материје транспортују под пратњом припадника саобраћајне полиције.

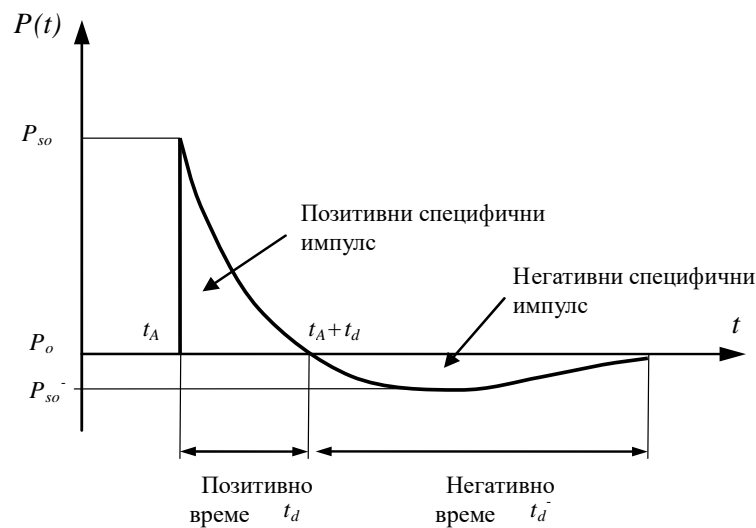
Физика експлозије и механизам простирања ударног таласа су битни сегменти у нумеричкој анализи негативних утицаја праћених нус продуктима хемијског разлагања експлозивне материје. Процес

³ Закон о превозу опасне робе („Сл. гласник РС“, бр. 104/16, 83/18, 95/18 и 10/19).

детонације или експлозије подразумева нагло ослобађање енергије. Брза реакција оксидације у случају хемијских експлозија, између атома угљеника и водоника, представљају кључни извор енергије. Детонација кондензованог експлозива високе енергетске моћи ствара вруће гасове под притиском од 300 Кбара и ствара температуру између 3000 и 4000 °С. Врели гас се шири потискајући запремину коју заузима. Као резултат формира се ударни талас испред запремине гаса коју покреће највећи део енергије која је ослобођена услед експлозије. Обзиром да се као последица и јавља притисак који је изнад атмосферског притиска, настаје резултујући надпритисак који се шири изван извора експлозије. Тренутак изједначавања притиска са притиском околине изазива стварање вакуума и усисавање ваздуха. Оваква појава је приказана графиком на Слици 10.47.



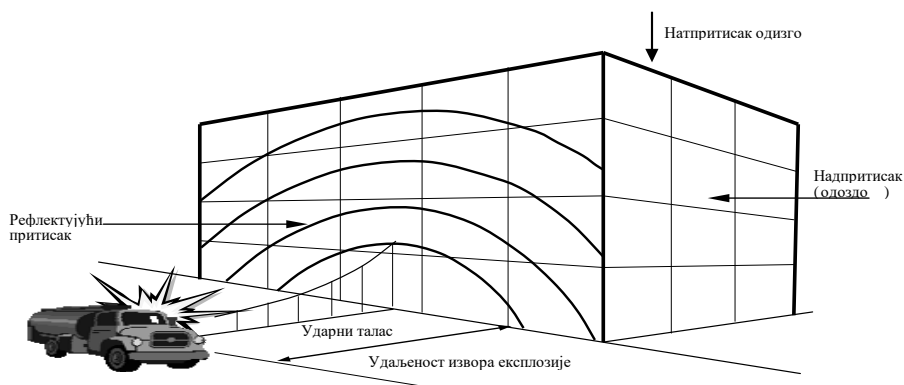
Слика 10.47. Ширење ударног таласа (Mendis I Ngo, 2003)



Слика 10.48. Притисак ударног таласа (Mendis I Ngo, 2003)

Поређење ефеката дејства експлозије је извршено са експлозијама у Светском трговинском центру 1993. године са нето количином експлозивног пуњења од 816,5 kg, бомбе у Оклахоми са нето количином експлозивног пуњења тринитротолуена (TNT) од 1814 kg.

Поређењем зависности притиска у функцији времена, јасно се уочавају две фазе: део изнад амбијенталног притиска назива се позитовна фаза, а део испод амбијенталног притиска назива се негативна фаза трајања. Разлика у фазама се манифестује тако што је негативна фаза дужег трајања и мањег интензитета. Крајњи ефекат процеса детонације је ударни талас са рефлексijом и ефектима дифракције који фокусирају зону у једној тачки.



Слика 10.49. Притисак ударног таласа на објекте инфраструктуре (Mendis i Ngo, 2003)

10.2. Предвиђање притиска експлозије

Процена максималног надпритиска се врши према формулу коју је 1955 године увео научник Броде на основу скаларних вредности, где је $Z = V^{1/3}$ и гласи:

$$P_{so} = \frac{6.7}{Z^3} + 1bar (P_{so} \triangleright 10bar) \quad (12.1)$$

$$P_{so} = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019bar \quad (12.2)$$

$$(0.1bar \triangleleft P_{so} \triangleleft 10bar)$$

Научници Newmark и Hansen, 1961. године су дошли до формуле за израчунавање надпритиска експлозије:

$$P_{so} = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \left(\frac{W}{R^3} \right)^{1/2} \quad (12.3)$$

Нешто касније научник Mills, уводи 1987. године израз за израчунавање максималног надпритиска путем формуле:

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \quad (12.4)$$

Ширењем таласа кроз атмосферу, ваздух иза фронта таласа се креће напоље мањом брзином, на основу чега се брзина честица и притисак ваздуха зависе од максималног надпритиска ударног таласа. Брзина ваздуха је у узрочно последичној вези са динамичким притиском $q(t)$, а максимална вредност се обележава са q_s :

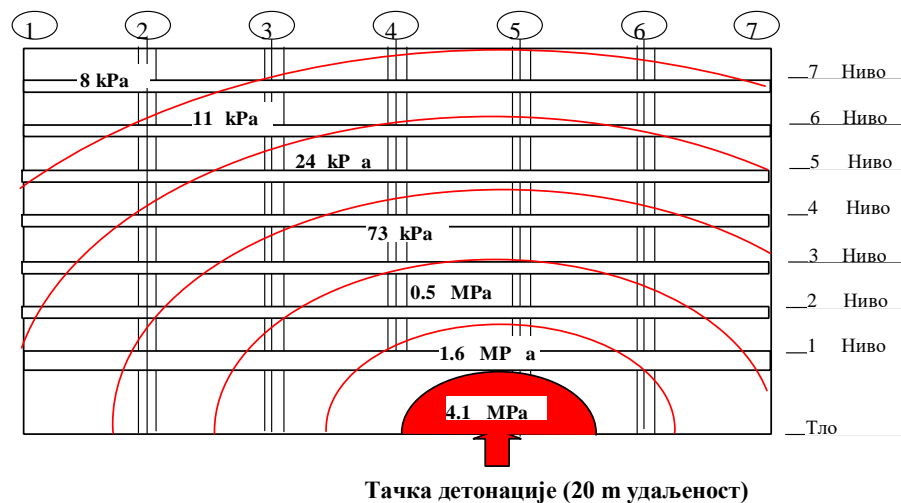
$$q_s = 5 p_{so}^2 / 2(p_{so} + 7 p_o) \quad (12.5)$$

Вредности максималног надпритиска експериментално добијене, изражене у МРа, са различитим нето количинама експлозива и растојања од центра експлозије су приказане у Табели 10.2. (Mendis i Ngo, 2003).

Табела 10.2. Експериментално добијене вредности максималног надпритиска (Mendis i Ngo, 2003)

Удаљеност (R) у [m]	Нето количина експлозива TNT, (W) у [MPa]			
1	165,8	354,5	464,5	602,9
2,5	34,2	89,4	130,8	188,4
5	6,65	24,8	39,5	60,19
10	0,85	4,25	8,15	14,7
15	0,27	1,25	2,53	5,01
20	0,14	0,54	1,06	2,13
25	0,09	0,29	0,55	1,08
30	0,06	0,19	0,33	0,63

Предикција путем софтверских модела за предикцију ударног таласа, као што је CFD, могуће је извршити симулацију ефеката експлозије. На графику дистрибуције се јасно виде нивои надпритисака у односу на епицентар експлозије. График је приказан на Слици 10.50.



Слика 10.50. График дистрибуције надпритиска ударног таласа (Mendis i Ngo, 2003)

11. МОДЕЛОВАЊЕ ЕМИСИЈЕ ПРОДУКАТА ПРИИКОМ САГОРЕВАЊА ИЛИ ДЕТОНАЦИЈЕ ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА

Процена ризика од хемијског удеса је један од темељних докумената за израду плана заштите запослених у фабрици - постројењу али и околног становништва од ефеката дејства отровног облака и испарења у случају удесног испуштања опасних материја из резервоара.

11.1. Процена еколошког ризика у случају удеса у постројењу

Процена ризика од хемијског удеса израђена је применом методологије дате у Правилнику о садржини политике превенције удеса и садржини и методологији израде Извештаја о безбедности и Плана заштите од удеса („Сл гласник РС”, број 41/2010), уз примену софтвера „ALOHA”(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) верзије 5.4.4. за симулацију атмосферске дисперзије отровног облака и образаца за прорачун дејства ударног таласа у случају експлозије.

Истраживање и израда ове дисертације базира се на следећим претпоставкама са очекивањем нивоа емисије полутаната приликом уништавања експлозивних материја сагоревањем и детонацијом на отвореном простору и након вишекритеријумске анализе са параметрима и технологијама примењеним током истраживања у складу са задатом темом:

Уништавање експлозивних материја као вишкова и заосталих количина након дејстава на циљу, односно након истека временског рока, на глобалном нивоу представља основ за превазилажење глобалних проблема у емисији штетних полутаната који је неопходно превазићи применом различитих технологија и вишекритеријумске анализе хемијског састава ради превазилажења загађења животне средине и одрживости развоја.

Усаглашавање технологије са међународним стандардима за емисију полутаната и одрживости развоја представља значајну основу за континуална унапређења технологије уништавања експлозивних материја на отвореном простору и подизање нивоа свести за смањење утицаја гасова стаклене баште и глобалног загревања.

Применом инжењерских приступа и анализом улазних и излазних параметара на основу расположивих метода и техника и законских основа представља основ за унапређење животног простора и омогућава адекватну синтезу за одлучивање на основу објективних чињеница од стране највишег руководства, стручних лица и власника експлозивних материја у процесу за доношење смерница, конкретних одлука и адекватних мера за унапређење емисионих фактора на регионалном и глобалном нивоу.

Анализом кључних параметара у експерименталном истраживању путем нумеричких и графичких приказа и упоредном анализом са измереним резултатима на студијама случаја, дефинисати законистост и прихватљивост резултата са аспекта прецизности и тачности у односу на измерене резултате.

Унапређена и комплексно дефинисана методологија за унапређење система менаџмента енергијом апстрахована практичним искуствима из конкретне студије случаја може дати допринос науци и будућој примени у великим компанијама организацијама за подизање емисионих фактора приликом прераде и уништавања експлозивних материја.

Испуњењем наведених хипотеза и реализацијом дисертације реално је очекивати валидан допринос за унапређења система технологије уништавања сагоревањем и детонацијом експлозивних материја на отвореном простору, са освртом на подизању сазнања у постефектима уништавања експлозивних материја, и то:

Подизање степена свести свих запослених о значају утицаја нус продуката сагоревањем и детонацијом на отвореном простору на животну средину.

Подизање нивоа компетенција Стручног тима за анализу расположивих техника и физичко хемијских својстава експлозивних материја, посебно технолога, оперативног руководства и власника компанија које се баве прерадом експлозивних материја, ради свођења крајњих ефеката на оптимално прихватљиви ниво.

Продуктивна и концизна употреба механизма на унапређењу емисионих фактора на утицај одрживости

развоја експлозивних материја у наредном периоду са еколошки прихватљивим сировинама и обавезом компанија које су носиоци развоја експлозивних материја да дефинишу еколошке методе и технике уништавања и прераде и

Стварање релевантног доприноса организационој култури на бази значаја енергетске ефикасности.

Крајњи ефекат ове дисертације представља анализа обавезне анализа приступа уништавања са дефинисањем компатибилних група за уништавање у маси и обавезе употребе законски прихватљивог сировинског састава произвођача експлозивних материја у даљем развоју и експерименталним потврђивањем да су употребљене сировине у експлозивним материјама, без негативних утицаја по животну средину.

Процена ризика израђена је на нивоу било које фабрике за производњу експлозива и експлозивних смеша, као теоријска и практична основа за могуће процене ризика у животној средини. Процена ризика се ни на који начин не може повезати са стварним фабрикама за производњу експлозивних материја и пиротехничких смеша.

11.1.1. Моделовање ефекта удеса у постројењу

Услед спровођења технолошког процеса производње TNT у фабрици Компанија „Слобода” а.д. Чачак, дошло је до експлозије у погону производње, при чему је гелер:

Емисија продуката приликом детонације експлозивних материја и убојних средстава у технолошком процесу производње.

Кључни сценарио, Детонација експлозивне материје или убојних средстава у маси и пренос детонације на складиште експлозивних материја у комплексу фабрике за производњу експлозивних материја, са приказом ефекта дејства нето количине експлозива, дејством фрагмената и парчади, надпритиском ударног таласа и емисије продуката.

Опасне материје су материје које имају токсична, оксидирајућа, запаљива, самозапаљива, екотоксична и друга својства опасна по живот и здравље живих бића и животну средину.

Лабораторијска и индустријска постројења за производњу експлозивних материја и објекти и магацини за складиштење експлозивних материја под утицајем непредвидивих околности могу изазвати нежељене последице по животну средину. Поред наведених извора, нежељени ефекти се стварају и приликом уништавања експлозивних материја сагоревањем и детонацијом на отвореном простору. Примери таквих извора емисије загађујућих материја могу бити:

- објекти хемијске индустрије – фабрике и холдинг компаније који производе или у технолошком процесу рада користе експлозивне материје као сировине,
- издвојени погони, магацини и складишта експлозивних материја,
- полигони за испитивање и уништавање експлозивних материја и
- транспортна средства са експлозивним материјама, као што су ауто-цистерне, вагон-цистерне, речни и морски танкери са експлозивним материјама.

Хемијски удес или хаварија која је изазавана експлозивном материјом подразумева паљење, експлозију, неконтролисано сагоревање и детонација експлозивне материје, деформација или уништење лабораторијског или индустријског постројења, магацина или складишта са експлозивним материјама.

Ширење удеса услед сагоревања или експлозије зависи од следећих чинилаца: физичко-хемијских својстава материје, атмосферске температуре, метролошких и хидролошких услова и карактеристике терена односно локације.

11.1.2. Студија случаја акцидента

На основу идентификованих локација потенцијалних опасности у производном комплексу предузећа „Слобода” а.д. Чачак, биће презентовани развоји могућих догађаја и последица оних критичних места на

којима је процењена повећана вероватноћа настанка удеса. Резултати представљају приказ могућег развоја догађаја који обухвата сагледавање могућег обима удеса и последица по живот и здравље људи, материјална добра и животну средину. Приликом одређивања критичних места превасходно се водило рачуна о количини и врсти опасне материје која се налази у њему.

Потенцијално најопаснији акциденти на предметној локацији су пожари цурење и испуштање опасних материја, односно у одређеним околностима експлозија. Један део производног комплекса „Слобода” а.д. Чачак, првенствено служи за обављање канцелариских послова, други део грађевинских објеката су пратећи објекти производње, помоћни објекти, и енергетски објекти. Одређен број објеката, отворених и затворених, има намену складишта, од чега се у највећем броју објеката складиште материје које нису пожарно опасне, тј. незапаљивематерије.

Под најугроженијим објектима се сматрају они у којима се обавља неки процес производње и у којима је присутно доста радника који би могли бити захваћени ударним таласом. Детаљније анализирани објекти су:

- *артиљерија и*
- *објекти пиротехнике и артифиције.*

У случају пожара јавља се повећање концентрације загађујућих материја (полутаната атмосфере) на локацији и непосредном окружењу као последица сагоревања присутних материјала. Комплекс у власништву предузећа Компанија „Слобода” а.д. Чачак, је добро повезан приступним путем, што у случају пожара омогућава лак прилаз ватрогасним интервентним возилима. Такође комплекс је опремљен и хидрантском мрежом која је инсталирана у складу са пројектно техничком документацијом.

Ниво концентрације загађујућих материја у димном облаку који настаје као последица сагоревања, зависиће од временских услова. При неутралним и нестабилним стратификацијама атмосфере, највећа концентрација ће бити при тлу у релативној близини објекта који гори и то до растојања од 20 метара висине, док се честице из облака дима са временом таложе и падају на околни простор узрокујући извесно загађење простора. Загађујуће материје настале удесом делују штетно на људски организам, пресвега на респираторни тракт. Дужим боравком у загађеној атмосфери могућа је појава нових системских обољења, алергија, астме, тровања итд. Међутим, с обзиром да је загађење ваздуха релативно краткотрајно, предвиђа се да неће доћи до настанка неких тежих последица. Код људи непосредно присутних на месту акцидента може доћи до озбиљнијих повреда због механичког озлеђивања, опекотина веће површине коже и тежег степена гушења услед удисања отровних гасова, контакта са проводницима, све са могућим смртним исходом.

У случају акцидента овог типа долази до ослобађања велике количине енергије у атмосферу у виду топлоте. Ово повећава унутрашње топлотно оптерећење. Сви ови утицаји су краткотрајни, па немају дужи ефекат на стање животне средине. Загађујуће материје делују штетно на флору и фауну, као и на људски организам. Токсично деловање на биљке везано је за разлагање хлорофила и поремећај асимилације. Поред наведеног ,таложее чађи и прашине на лисним површинама омета процес фотосинтезе.

За процену ризика по здравље становника у непосредној близини комплекса, неопходна је и процена састава гасова који би настали потпуним или непотпуним сагоревањем запаљивих деривата, њихова маса односно запремина, токсиколошки параметри продуката сагоревања као и њихова концентрација на различитим растојањима и у различитим временским пресецима од места удеса и од тренутка настанка горења.

Узимајући у обзир токсикологију продуката сагоревања (СО и СО₂) масу гасовитих производа, топлоту и брзину сагоревања и експлозије, као и најчешће временске прилике на локацији, може се проценити да у случају пожара може доћи до локалног и не дуготрајног загађења ваздуха.

11.1.3. Објекат 156, производни погон артиљериског програма

Укупан број радника на изради метка 100 mm Т12 је 62, стим што се радници пребацују са једног процеса на други, пошто се обавља смакнута производња. За регуларан рад производње у објекту Артиљерија, пројектована су следећа радна места:

- оперативна хала: 5 (пет) радника,
- простор за лабораторију и чишћење: 8 (осам) радника,
- простор за лаковање: 4 (четири) радника и
- простор за лабораторију чауре, комплетирање и паковање метка: 45 (четрдесет пет) радника.

Радници морају бити стручно оспособљени за рад са овим сировинама и упознати са свим превентивним мерама дефинисаним интерним прописима, који третирају технолошке поступке, мере безбедности и све релевантне услове под којима се поступци изводе.

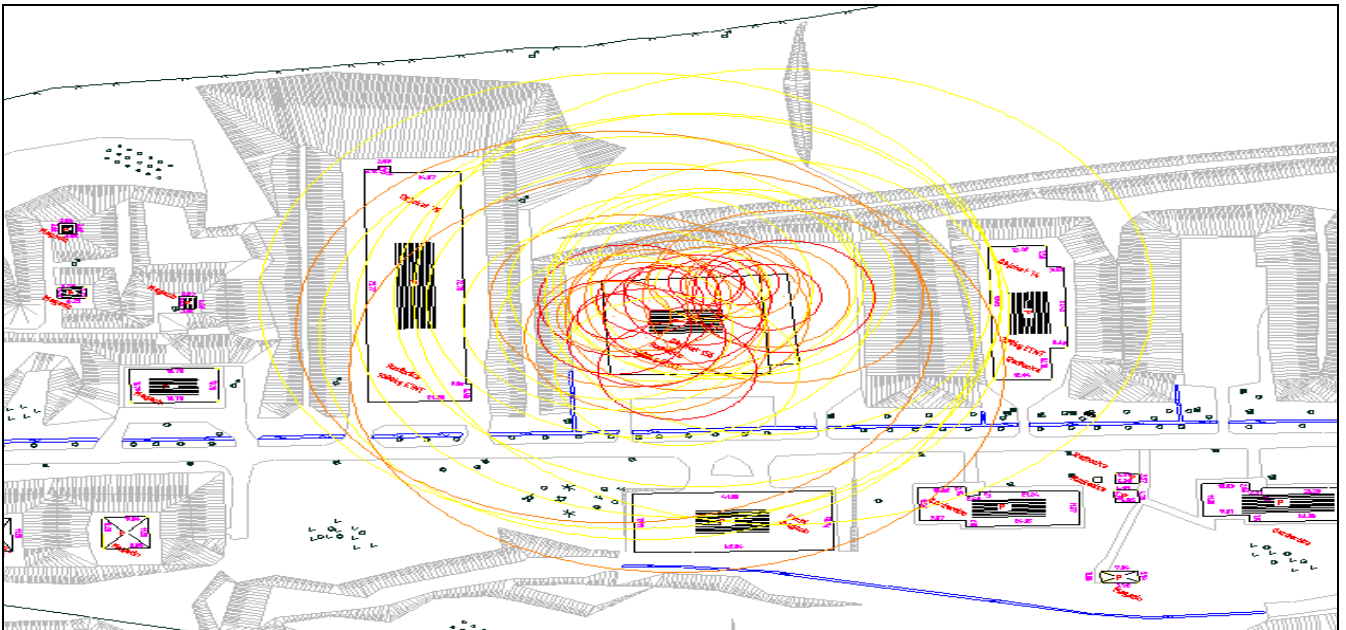
Руководилац погона контролише извршење операција, извршење планираних производних задатака, контролу производње и услова рада.

Карактеристична удаљења су дата у следећој табели по осетљивим просторијама за објекат артиљерије у зависности од величине надпритиска.

Табела 11.1. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска

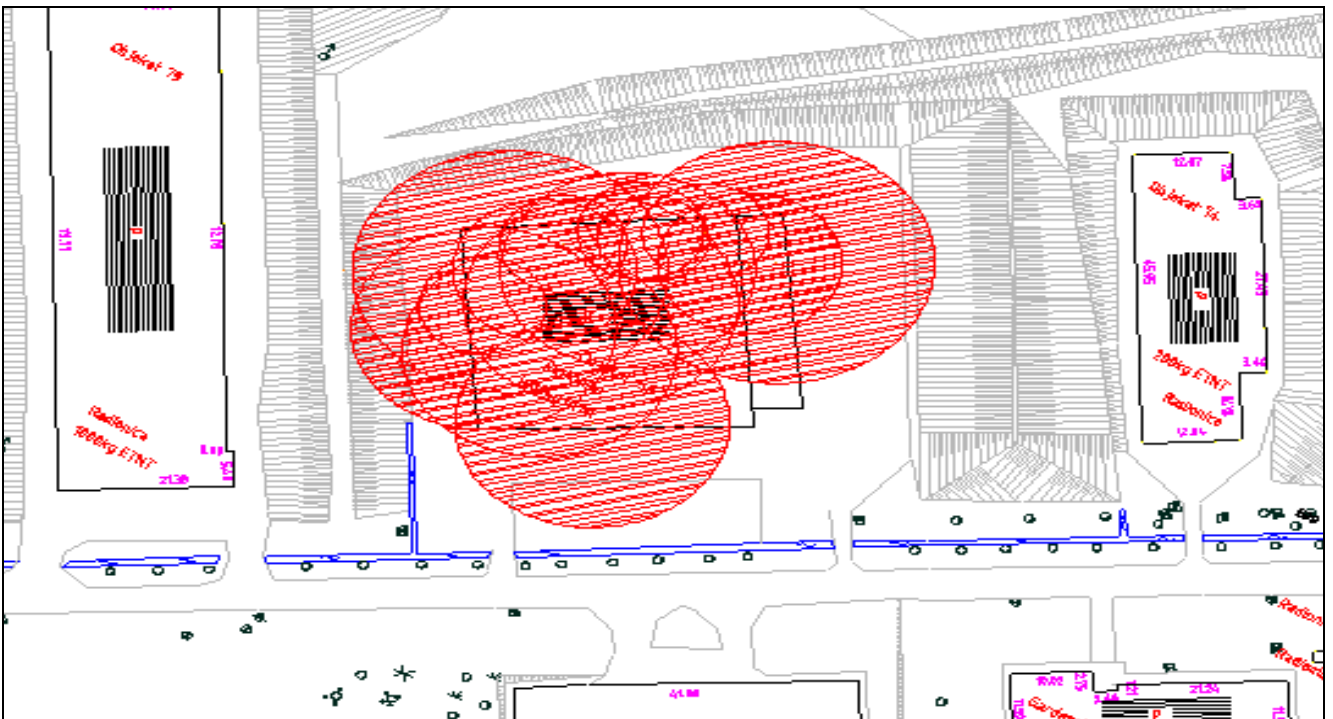
	Црвена зона (од центра експлозије у m)	Наранџастазона (од центра експлозије у m)	Жута зона (од центра експлозије у m)	ETN- a kg	Назив просторија
П2	19,2	29,5	78	150	Дневни магацин експлозива
П3	11,2	17,2	47	30	Просторија за просејавање и допрему експлозива
П4	15,5	23,8	64	80	Оперативна хала
П5	7,7	12	32	10	Просторија за шнек машину
П9	7,7	12	32	10	Лаборација
П10	7,7	12	32	10	Сечење експлозива
П12	7,7	12	32	10	Просторија за шнек машину
П13	11,2	17,2	47	30	Просторија за просејавање и допрему експлозива
П15	19,2	29,5	78	150	Дневни магацин експлозива
П16	16,7	25,7	69	100	Лаборација и фино чишћење гранате
П18	16,7	25,7	69	100	Лакирница
П21	7,7	12	32	10	Дневни магацин упаљача и топовских каписли
П25	16,7	25,7	69	100	Просторија за лабораторију, комплетирање и паковање муниције
П28	16,1	24,8	67	90	Дневни магацин барута и барутних пуњења

На Слици 11.1. је графички приказ зона опасности (одговара претходној табели) за вредности притисакаод: 8,0 psi (8 psi = 0.55158 bar = 55158.05832 Pa); 3,5 psi (3.5 psi = 0.241316 bar = 24131.650515 Pa) и 1,0 psi (1.0 psi = 0.068947 bar = 6894.75729 Pa).



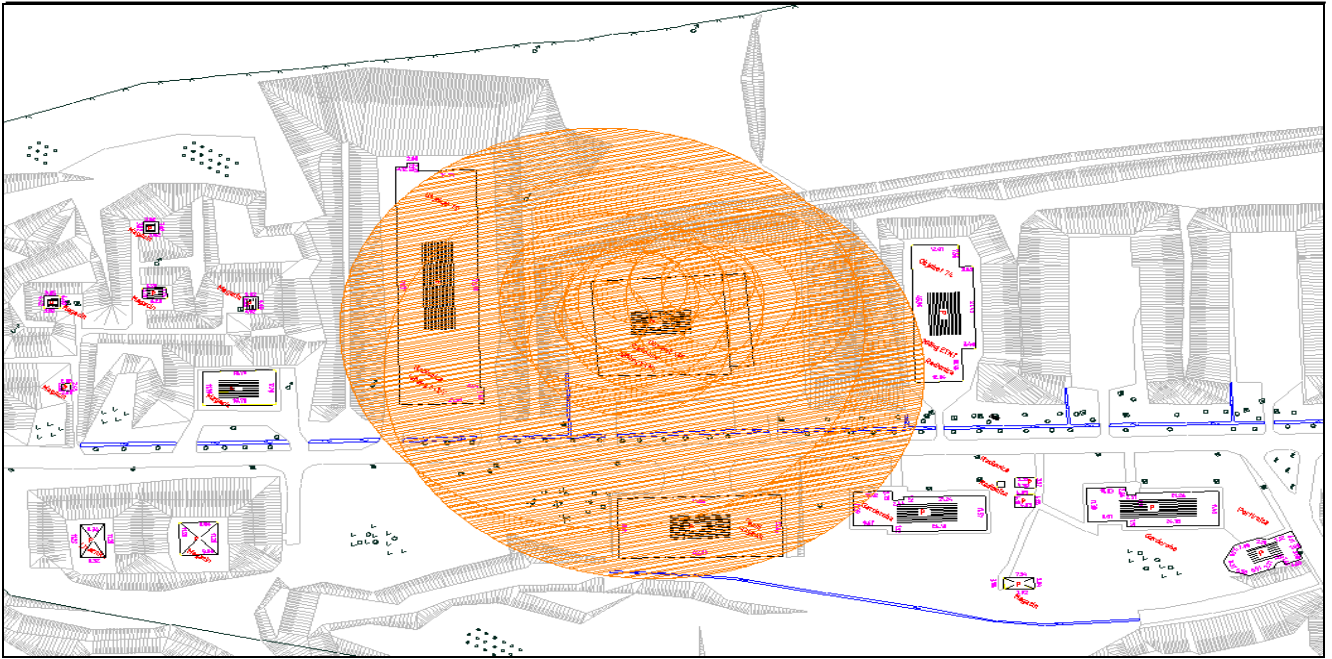
Слика 11.1. Погон артиљерије са обележеним осетљивим зонама

Црвена зона: 8,0 psi (8 psi = 0.55158 bar = 55158.05832 Pa). Надпритисак у оквиру црвене зоне изазива рушење објеката.



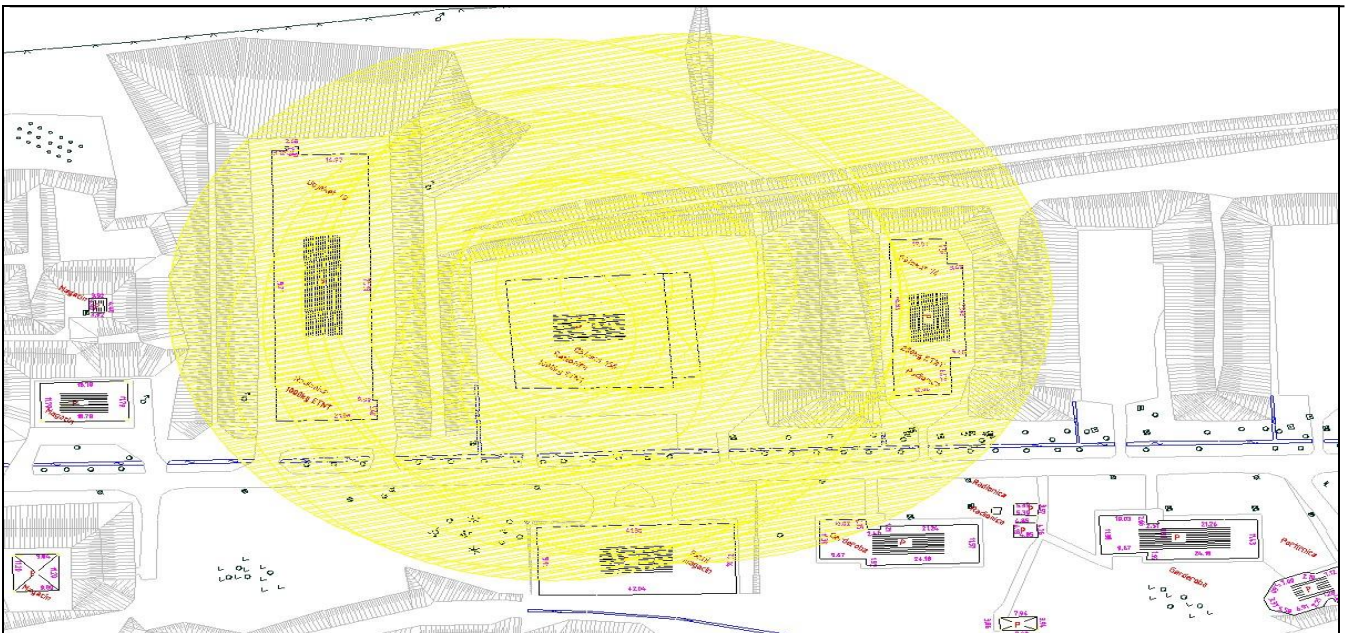
Слика 11.2. Погон артиљерије са црвеном зоном повредивости

Наранџаста зона: 3,5 psi (3.5 psi = 0.241316 bar = 24131.650515 Pa). Надпритисак у оквиру наранџасте зоне углавном изазива озбиљне повреде.



Слика 11.3. Погон артиљерије са наранџастом зоном повредивости

Жута зона: 1,0 psi (1.0 psi = 0.068947 bar = 6894.75729 Pa). Надпритисак у жутој зони изазива разбијање стакла.



Слика 11.4. Погон артиљерије са жутом зоном повредивости

11.1.4. Анализа могућих отказа делова опреме или система у целини

Највећа опасност од могућих отказа делова или система у целини који се теоретски може догодити, у овом случају је катастрофално оштећење на резервоарима, односно магацинима за складиштење опасних материја. Ово се може догодити из више разлога, али простом анализом ситуације и карактеристика како окружења тако и техничко технолошких карактеристика производње и постројења увиђа се да је вероватноћа за такав догађај веома мала.

Поред наведеног узроци за пуцање резервоара тј. цистерни са опасним материјама могу бити следећи:

- спољашњи утицај,
- грешке у пројектовању или изради (сви важећи стандарди за пројектовање резервоара и постројења за разлагање ваздуха поштују се како у фази пројектовања тако и у фази израде делова и склопова, уз одговарајуће тестове издржљивости, тестове притиска, сертификата материјала и др.) и
- надпритисак.

Остале могућности настанка удеса:

- Могући узроци емисије услед удеса могу бити људски фактори и технички поремећаји. Људски фактор може бити узрок удеса услед:
 - ✓ непрописног вођења процеса манипулације,
 - ✓ непоштовања радних прописа и радних поступака при нормалном раду и при ситуацијама удеса,
 - ✓ некавалитетног одржавања опреме,
 - ✓ коришћење материјала квалитета ван спецификације, у току процеса манипулације и приликом одржавања опреме и
 - ✓ некоришћење додатне сигурносне опреме и поступака.
- Технички поремећаји могу бити узроци емисије удеса приликом:
 - ✓ поремећаја у допреми помоћних флуида (енергетски, процесни и хемикалије),
 - ✓ механичких поремећаја,
 - ✓ кварови на процесној опреми,
 - ✓ кварови на мерно-регулационој опреми,
 - ✓ кварови на систему аутоматске или ручне дојаве пожара и
 - ✓ кварови узроковани вишом силом (земљотрес, диверзија итд.).
- Приликом удеса, нарочит ризик емисије представљају:
 - ✓ материје које су под надпритиском, а при собној температури и атмосферском притиску су у гасовитом стању и
 - ✓ материје које су лако запаљиве, односно експлозивне.

11.1.5. Опис удеса који се може догодити

Иницијални догађај (узрок удеса) започиње ланац догађаја који могу довести до нежељеног инцидента ако неки од слојева заштите не заустави пропагацију. Велики број дешавања можемо сврстати у иницијалне догађаје: квар неког дела опреме или инструмента, погрешан потез руковаоца.

Неки иницијални догађаји нису сами по себи опасни. Пре свега такви иницијациони догађаји су разматрани при квантитивном вредновању ризика. Иницијални догађаји се обично квантификују преко учесталости њиховог дешавања. Тада се и иницијални догађај мора представити као вероватноћа. Вероватноћа се при том изражава као могућност догађања иницијалног догађаја за одређени број прилика или за одређени временски период. Гране једног стабла догађаја, су групе догађаја код којих су могући различити крајњи исходи зависно од тога који се догађај десио и због чега. Гране у стаблу догађаја су најчешће комплементарни догађаји.

Сваки од догађаја у свакој грани има своју припадајућу вероватноћу. Код израде анализе стабла догађаја мора се користити вероватноћа, а не учесталост у гранама, јер се у том случају не би добио коректан резултат. Ако је ефикасност заштите представљена у облику интензитета квара, она се мора конвертовати у вероватноћу за одређени период времена или број прилика пре него што се примени у стаблу догађаја.

Могући удеси (главни догађај) су резултат анализа стабла догађаја. Мада само један од њих може бити интересантан, остали су такође представљени, а могу бити и прорачунати. Број могућих крајњих исхода је функција броја догађаја у свакој грани. Крајњи исходи једног стабла догађаја се обично

изражавају као учесталост, мада је у одређеним околностима потребно да се они изразе као вероватноће. Пут од иницијалног догађаја до крајњег исхода је дефинисан преко низа међу догађаја који се морају десити да би дошло до тог крајњег исхода. Он је дефинисан такође и логиком којом су међу догађаји повезани. Кад пратимо пут од иницијалног догађаја до крајњег исхода ми повезујемо иницијални догађај и међу догађаје у гранама логичком везом. Да би се крајњи исход „заиста“ догодио морају се „заиста“ догодити и иницијални догађај као и сви међу догађаји на путу до крајњег исхода.

Узимајући у обзир карактеристике појединих инсталација и карактеристике материја у процесу, у даљем тексту биће приказано стабло догађаја за критична места (тачке) истицања максималне количине супстанце. При формирању стабла догађаја узета је вероватноћа настанка догађаја. Вероватноћа настанка удеса процењује се на основу података о догађајима и удесима на истим или сличним инсталацијама код нас и у свету и података добијених идентификацијом опасности.

Вероватноћа настанка удеса зависи од више фактора, али превасходно од стања инсталација (старост, одржавање, атестација, контрола итд.), као и од удела „људски фактор“. Поред алтернативних сценарија за процену ризика потребно је анализирати и најгори сценарио, без обзира на вероватноћу настанка.

Након идентификације количине и врсте опасне материје сагледавају се услови који утичу на повећање вероватноће настанка акцидента и емисије:

- људске и организационе грешке,
- одступање од нормалних радних услова,
- механички отказ резервоара,
- отказ контролних система (притисак, температура, ниво и проток),
- не одговарајући дизајн против унутрашњег притиска, спољашњих сила, корозивног медија и температуре,
- спољњи утицаји, односно саботаже и
- природне катастрофе.

Системи и опрема која се користи у процесу производње у Компанији „Слобода“ а.д. Чачак једноставне су и поуздане конструкције те су откази делова опреме и или система у целини ретки тј. мале вероватноће. У случају њиховог настајања услед примењених техничко-технолошких решења и процеса производње вероватноћа да они изазову удес мала. Највероватније последице истих јесу прекид рада или лоше функционисање те је вероватноћа мала за настанак удеса услед поменутих узрока.

11.1.6. Утврђивање сценарија најгорег могућег обима удеса (сценарио који има катастрофалне последице по људе, животиње, животну средину, материјална и културна добра)

Поред свега приказаног, сценарио најгорег могућег обима удеса у „Слобода“, а.д. Чачак, би се заснивао, на испуштању веће количине опасне материје у постројење фабрике која би затим могла својим особинама угрозити како запослене и објекте унутар Компаније „Слобода“, а.д. Чачак, тако и објекте, људе и животну средину у ширем рејону.

Табела 11.2. Погон пиротехнике и артифиција

Пиротехника-производни објекти	Артифиција-производни објекти
Објекатбр.51 – прототипска радионица	Објекат бр.23 – објекат експлозивних материја
Објекатбр.61 – рендген и капислирање	Објекатбр.52 – припрема сировина 1
Објекатбр.74 – пресовање експлозива	Објекатбр.53 – припрема сировина 2
Објекатбр.77 – лабораторија и компетирање	Објекатбр.54 – припрема сировина 3
Објекат бр.79 – лабораторија подклопова	Објекат бр. 55 – синтеза смеша
Објекат бр. 83 – израда запаљиво експлозивне смеше	Објекат бр. 56 – пресовање трасера 1
Објекат бр. 84 – сушара експлозива	Објекат бр. 58 – припрема за пресовање трасера
Објекат бр. 90 – лимарница	Објекат бр. 59 – радионица за сушење бакљи и барута
	Објекат бр. 60 – пресовање и лабораторија смеше
	Објекат бр. 60/а – лабораторија смеше
	Објекат бр. 64 – лабораторија подклопова

Сви набројани производни објекти припадају погону „Артифиција-Пиротехника”. Објекти који ће бит и детаљније анализирани су:

- Објекат број 23,
- Објекат број 51 и
- Објекат број 61.

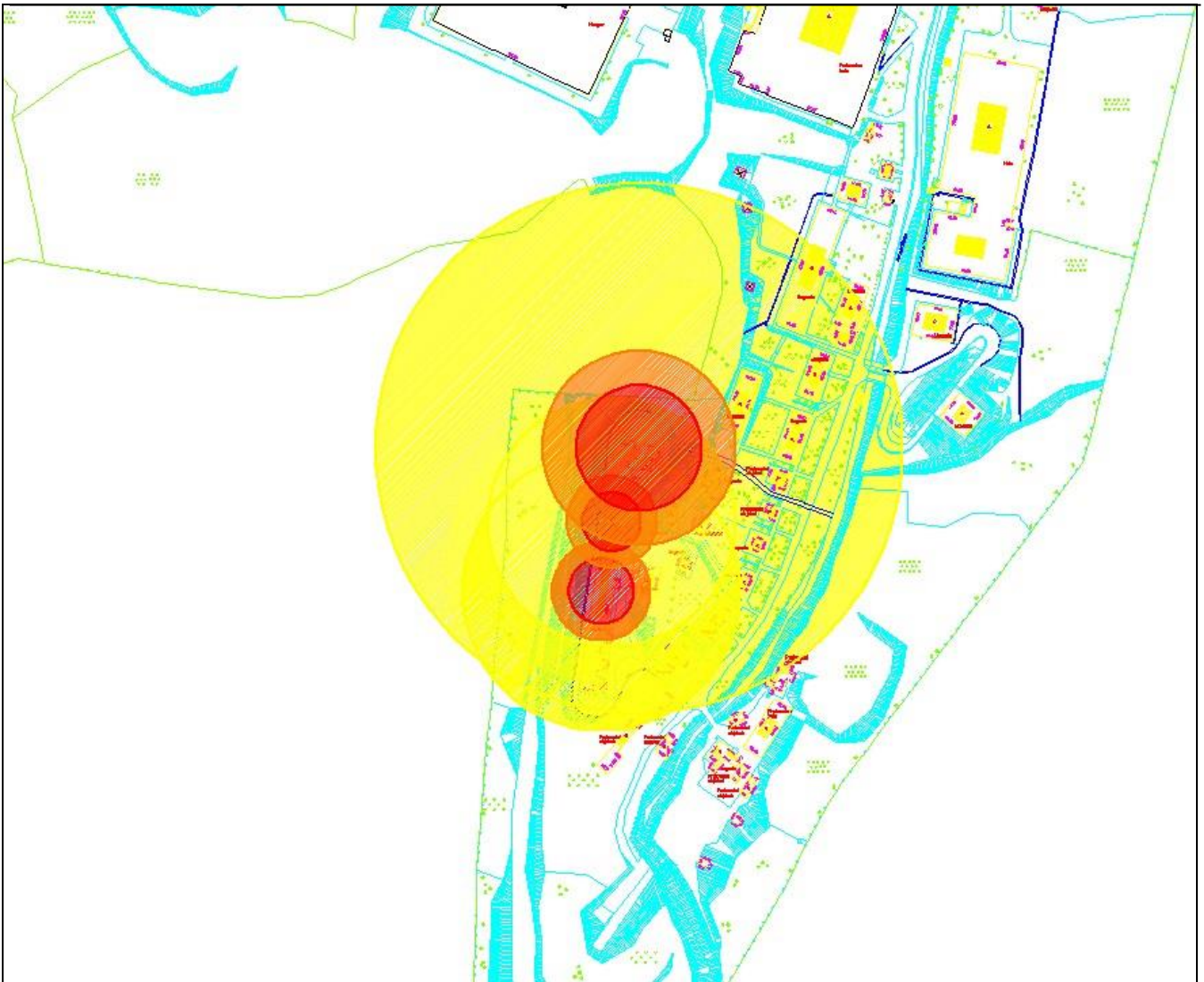
Објекат број 23 - у овом објекту се врши израда пиротехничких смеша. Објекат број 23 спада у Погон „Артифиције”. Број запослених је 43 радника. Радници раде у две смене.

Карактеристична удаљења су дата у следећој Табели 11.3. за Објекат број 23 у зависности од величине надпритиска за распоређен ЕТНТ-а по објекту. Зоне опасности приказане на Слици 11.5.

Табела 11.3. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска за Објекат 23

80 ETNT-a	80 ETNT-a	80 ETNT-a
Црвена зона (г од центра експлозије у м)	Наранџаста зона (г од центра експлозије у м)	Жута зона (г од центра експлозије у м)
15,5	23,9	65
110 ETNT-a	110 ETNT-a	110 ETNT-a
Црвена зона (г од центра експлозије у м)	Наранџаста зона (г од центра експлозије у м)	Жута зона (г од центра експлозије у м)
17,2	26	73
800 ETNT-a	800 ETNT-a	800 ETNT-a
Црвена зона (г од центра експлозије у м)	Наранџаста зона (г од центра експлозије у м)	Жута зона (г од центра експлозије у м)
33	51	139

Графички приказ зона опасности (одговара претходној табели) за вредности притисака од: 8,0 psi (8 psi = 0.55158 bar = 55158.05832 Pa); 3,5 psi (3.5 psi = 0.241316 bar = 24131.650515 Pa); 1,0 psi (1.0 psi = 0.068947 bar = 6894.75729 Pa).



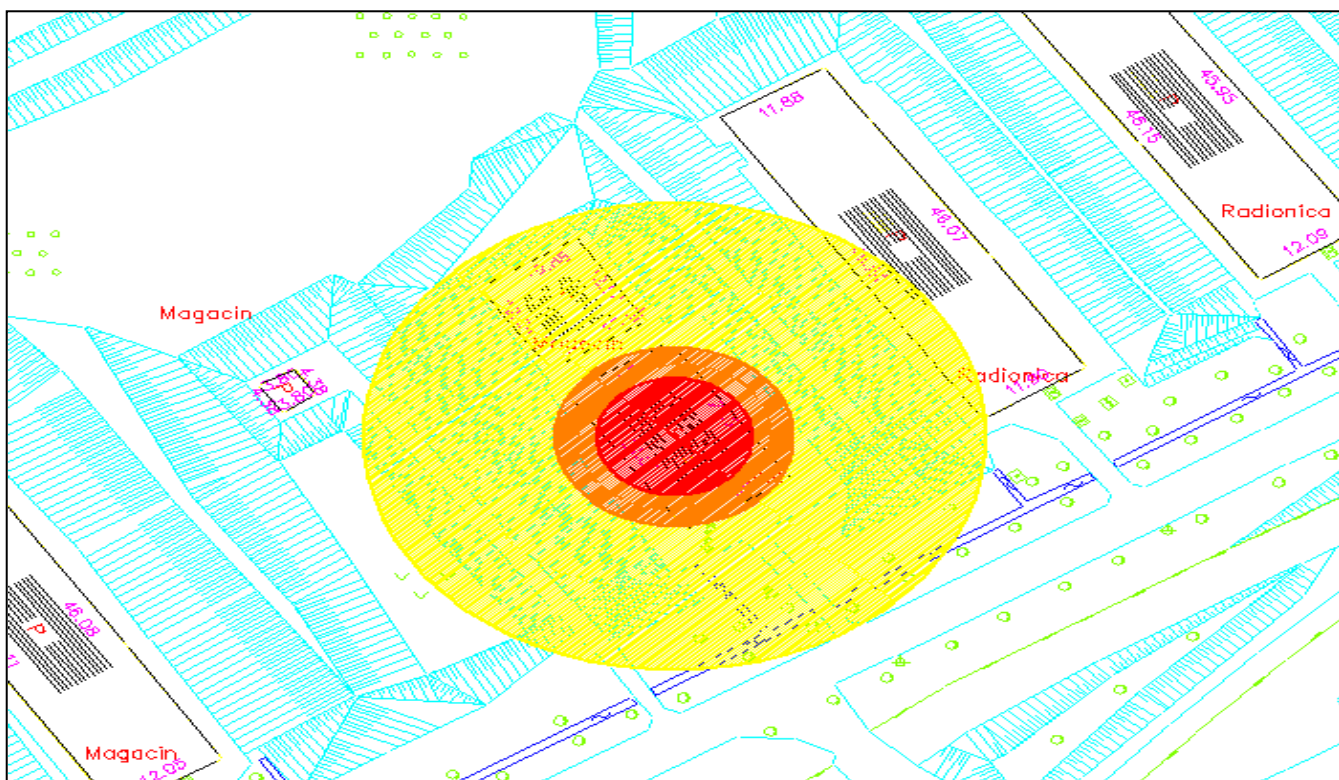
Слика 11.5. Објекат број 23 са обележеним осетљивим зонама

Објекат број 51 се користи за пресовање пиротехничких смеша у појачник, припалу, осигурач, самоликвидатор. Објекат број 51 се налази у опасном делу погона названом „Пиротехника”. У објекту је дозвољено 22 радника у једној смени. Ради се у две смене.

Карактеристична удаљења су дата у следећој Табели 11.4. за објекат број 51 у зависности од величине надпритиска.

Табела 11.4. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска Објекат број 51

9 EINT-a		
Црвена зона (г од центра експлозије у м)	Наранџаста зона (г од центра експлозије у м)	Жута зона (г од центра експлозије у м)
7,5	11,5	30



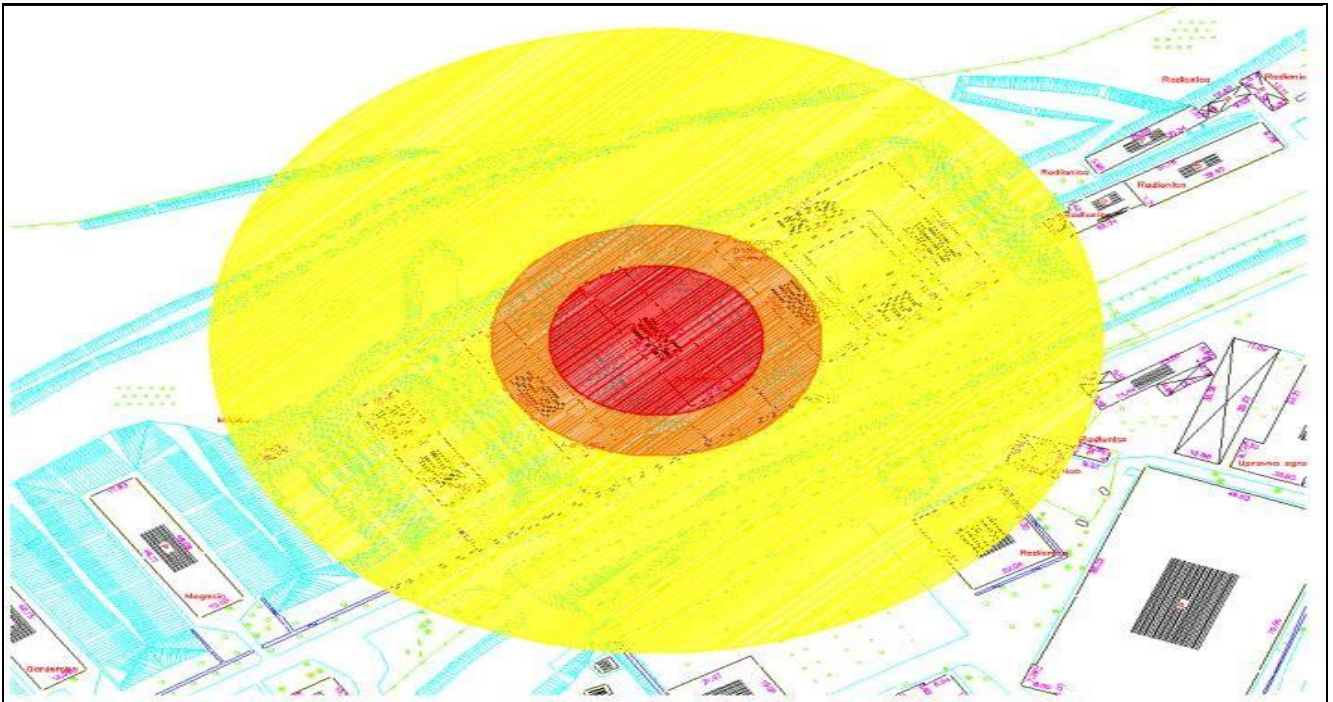
Слика 11.6. Објекат број 51 са обележеним осетљивим зонама

Графички приказ зона опасности (одговара претходној табели) за вредности притисака од: 8,0 psi (8 psi = 0.55158 bar = 55158.05832 Pa); 3,5 psi (3.5 psi = 0.241316 bar = 24131.650515 Pa); 1,0 psi (1.0 psi = 0.068947 bar = 6894.75729 Pa).

Објекат број 61, намењен је за лабораторију пиротехничких и других упаљача намењених за противавионску и артиљеријску муницију. Објекат се налази у опасном делу погона названом Пиротехника. У овом објекту је дозвољено 55 радника у једној смени. Ради се у две смене. Карактеристична удаљења су дата у следећој Табели 11.5. за Објекат број 61 у зависности од величине надпритиска.

Табела 11.5. Граничне зоне ефеката за изабране вредности надпритиска за Објекат број 61

300 EINT-a		
Црвена зона (г од центра експлозије у m)	Наранџаста зона (г од центра експлозије у m)	Жута зона (г од центра експлозије у m)
24	37	100



Слика 11.7. Објекат број 61 са обележеним осетљивим зонама

Графички приказ зона опасности (одговара претходној табели) за вредности притисака од: 8,0 psi (8 psi = 0.55158 bar = 55158.05832 Pa); 3,5 psi (3.5 psi = 0.241316 bar = 24131.650515 Pa); 1,0 psi (1.0 psi = 0.068947 bar = 6894.75729 Pa).

11.1.7. Анализа повредивости

На основу прорачунатих вредности надпритиска при експлозији ЕТНТ-а, извршена је компарација са подацима из Табеле 11.6. у којој је дата корелација између надпритиска и врсте оштећења објеката.

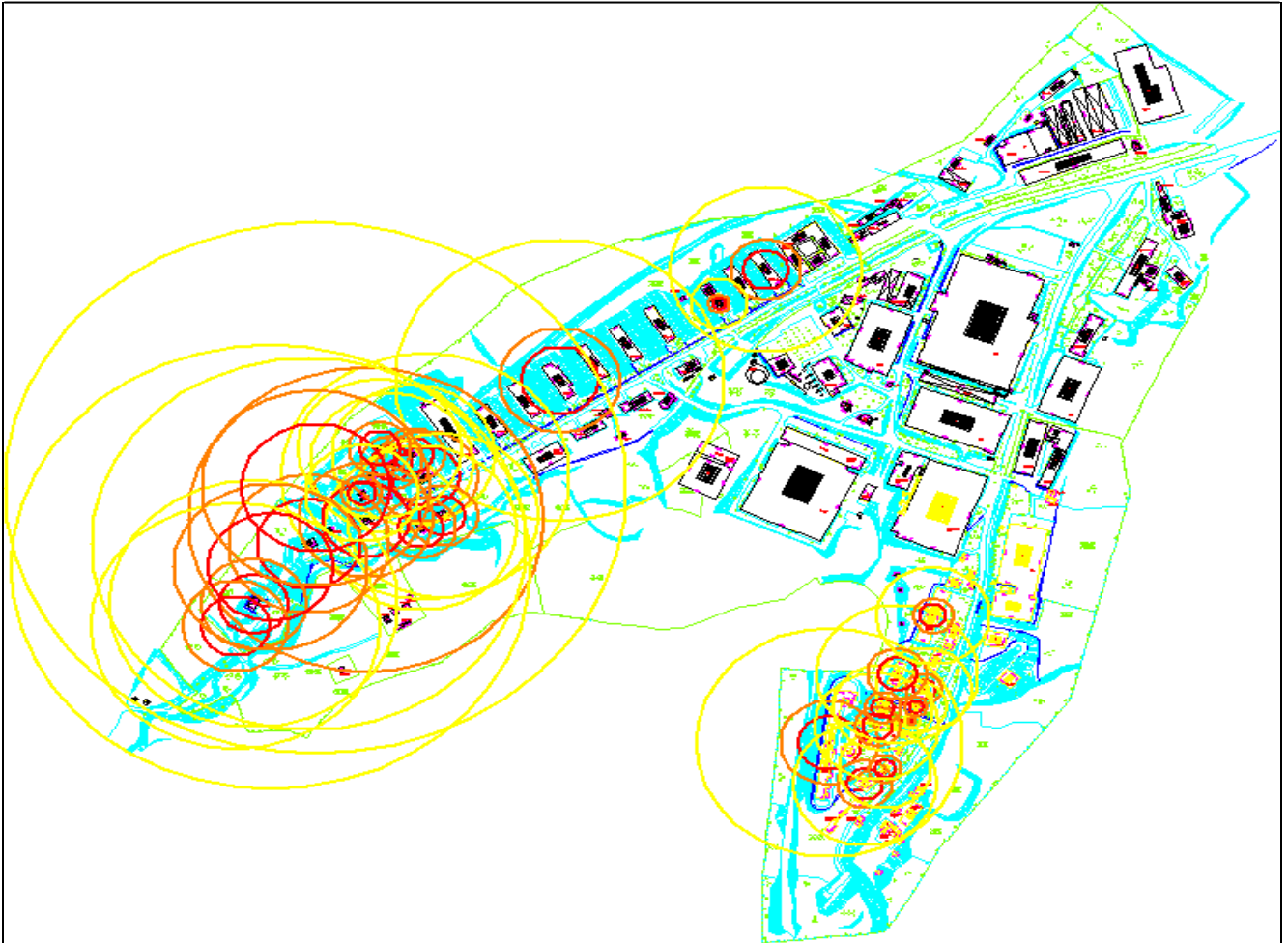
Моделовање је вршено за све потенцијално опасне објекте који садрже неку вредност ТНТ-а. Метод прорачуна надпритиска експлозије без узимања у обзир просторне конфигурације у којој се експлозија одиграва. У случају да се експлозија одиграва у средини простора који је окружен уређајима и у затвореном простору, *ефекти експлозије нису поуздани.*

Табела 11.6. Приказ везе надпритиска и осетљивости/штете разних врсте објеката инфраструктуре (Правилник о заштити на раду при изради експлозива и барута и манипулисању са експлозивима и барутима („Службени лист СФРЈ”, бр. 15/65 и 28/66)

Тип грађевине	Надпритисак (bar)	Тип оштећења	Вероватност оштећења
Дрвене колибе или шупе	0,07	Поједине зграде се преврћу. Кров и зидови падају	0,1
	0,14	Скоро потпуно рушење	0,4
	0,35	Рушење зграде	1
Зграда са челичним оквиром металним зидовима (листовима)	0,087	Попуштање металних носача	0,1
	0,105	Откидање металних листова, оштећење зидова. Опасност од падајућих делова.	0,2
	0,175	Структура зграде остаје, али спољни и унутрашњи зидови се руше и ојачања криве.	0,4
	0,35	Рушење зграде	1
Зграда од не ојачаног зида од цигала	0,07	Делимично попуштање зидова који немају ломљиве прозоре	0,1
	0,087	Зидови и кров понегде попуштају	0,2
	0,105	Делимично рушење зидова и крова	0,6
	0,21	Рушење зграде	1
Зграда са бетонским оквиром и не ојачаним зидом од цигала	0,07	Оштећење изложене стране	0,1
	0,105	Попуштање зидова на унутра	0,2
	0,14	Делимичан пад крова	0,4
	0,175	Пуцање бетонског оквира	0,6
	0,35	Рушење зграде	1
Зграда са ојачаним бетонским оквиром и ојачаним зидом од цигала	0,14	Мања улегнућа зидова и крова. Инутрашња оштећења зидова.	0,1
	0,42	Зграда има озбиљна оштећења и склона је паду	0,4
	0,84	Рушење зграде	1

Нивои угрожености надпритиском, представљају праг притиска насталог услед ударног таласа, гдесе обично на ниво изнад њега јавља опасност. Приликом исцртавања зона угрожености, узете су у обзир три вредности надпритиска:

- **црвена:** 8,0 psi (8 psi = 0.55158 bar = 55158.05832 Pa). Надпритисак у оквиру црвене зоне изазива рушење објеката;
- **наранџаста:** 3,5 psi (3.5 psi = 0.241316 bar = 24131.650515 Pa). Надпритисак у оквиру наранџасте зоне углавном изазива озбиљне повреде и
- **жута:** 1,0 psi (1.0 psi = 0.068947 bar = 6894.75729 Pa). Надпритисак у жутој зони изазива оштећење и разбијањестакла.



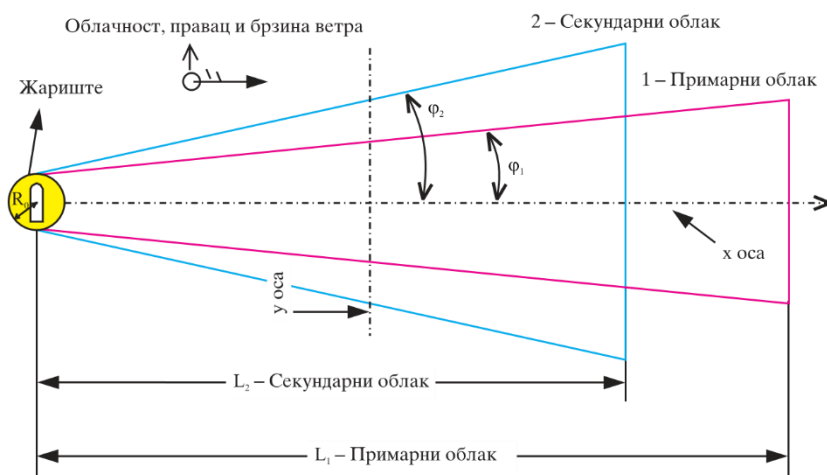
Слика 11.8. Зоне угрожености надпритиском у посматраним погонима комплекса предузећа Компанија „Слобода” а.д. Чачак

Анализом добијених резултата, применом методе прорачуна зоне дисперзије и угрожености, може се утврдити да зоне дисперзије производа *зависе од* хемијског састава, врсте, типа, испоштованости максимално дозвољених нето количина по операцијама, испоштованости група опасности и компатибилности, растојања у технолошком процесу, међумагацинског растојања, заштитних насипа, типа објеката и микроклиматских услова у технолошким процесима рада, приручним магацинима или складиштима сировина, односно готових производа.

12. ВРСТЕ ИЗВОРА ОПАСНОСТИ И ОСНОВНИ ПОДАЦИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОЦЕНУ УГРОЖЕНОСТИ ЕМИСИЈЕ УСЛЕД ХЕМИСЈКЕ ЕКСПЛОЗИЈЕ

Удеси експлозивне материје касо потенцијални извор експлозије и емисије продуката се деле на:

- **тренутне тачкасте и запремиске изворе** – моделују простирање и дистрибуцију примарног облака продуката експлозивне материје који су настали као резултата појединачне емисије продуката експлозивне материје,
- **тренутне линеарне изворе** – моделују простирање и дистрибуцију примарног облака продуката експлозивне материје који су настали као резултат деловања низа емисија формираних у линији која је у ортогоналној равни у односу на правац ветра,
- **континуалне тачкасте и запреминске изворе** – моделују дејство појединачне емисије продуката експлозивне материје који у реакцији са атмосферским ваздухом формирају секундарни облак експлозивне материје и
- **континуалне линеарне изворе** – моделују простирање и дистрибуцију секундарног облака продуката експлозивне материје који су настали као резултат низа емисија формираних у линији која је у ортогоналној пројекцији у односу на правац ветра.

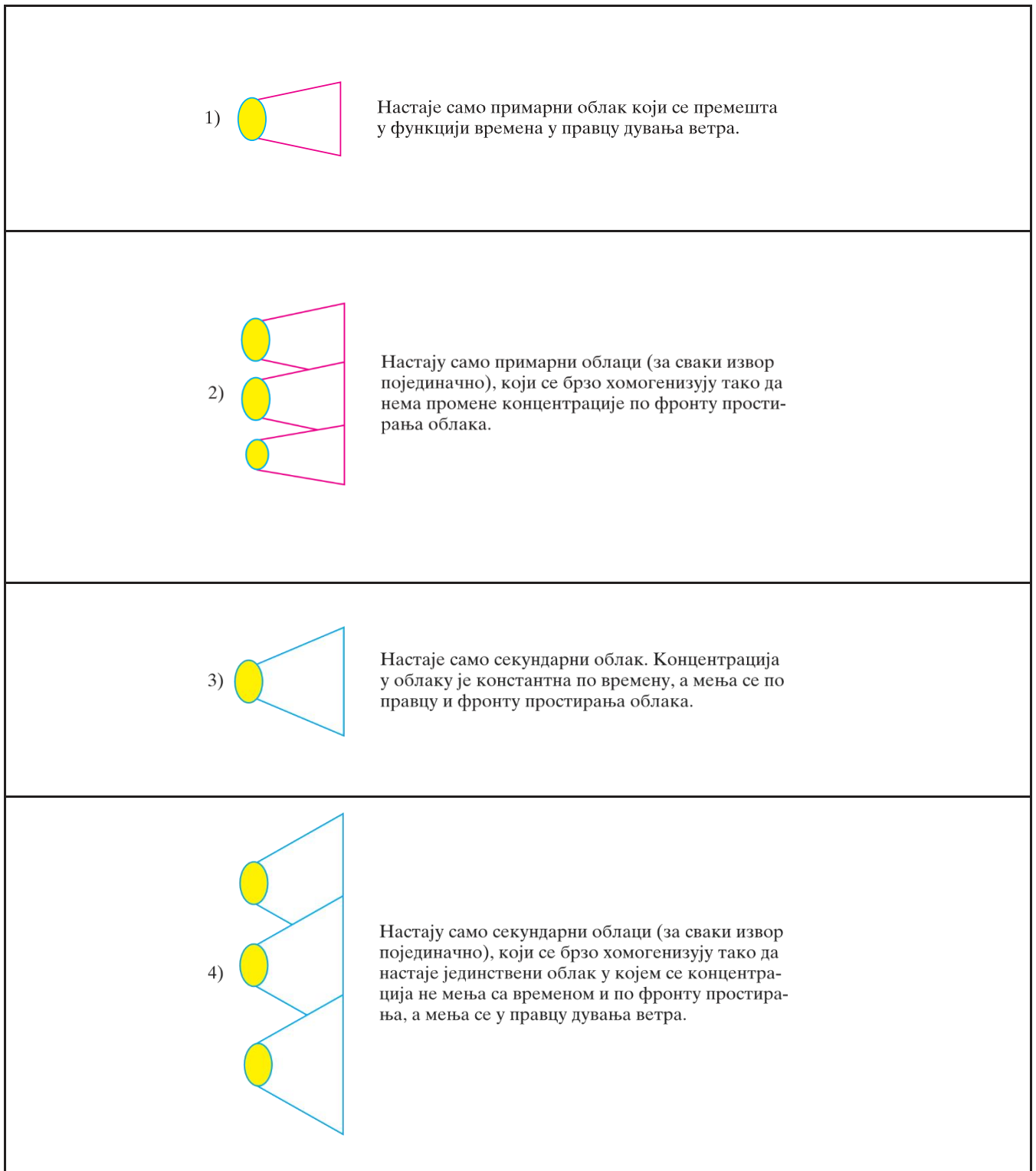


Слика 12.1. Основни елементи хемијског удеса експлозивне материје (Управа атомско биолошко хемијске одбране, 2004)

где је:

- ϕ_1 и ϕ_2 – половина угла сектора простирања примарног и секундарног облака,
- x оса – правац ветра или смер ширења облака (правац ветра дефинисан је у степенима или странама света одакле ветар дува, смер ширења продуката дефинисан је у степенима или странама света према којима се креће облак емисије,
- y оса – правац нормалан на правац ветра (користи се при одређивању ширине жаришта и примарног и секундарног облака емисије).

Објашњење врста удеса у односу на тип извора емисије је дат на Слици 12.2.



Слика 12.2. Шематски приказ врсте удеса у односу на тип извора емисије: 1) тренутни запремински извор, 2) тренутни линеарни извор, 3) континуални запремински извор; 4) континуални линеарни извор

Табела 12.1. Приказ нето количина експлозива по просторијама у Објекту 156 Погон „Артиљерије”

Ред. бр.	Заштитни насип око магацина, односно објекта, (има, нема)	Жута зона (удаљеност од центра експлозије у m)	Наранџаста зона (удаљеност од центра експлозије у m)	Црвена зона (удаљеност од центра експлозије у m)	Еквивалентна количина тротила (TNT) у kg	Технолошка целина
1.	Има	39,4	19,7	14,8	120	Дневни магацин експлозива
2.	Нема	78,9	39,4	29,6	120	
3.	Има	21,7	10,8	8,1	20	Просторија за просејавање и допрему експлозива
4.	Нема	43,4	21,7	16,3	20	
5.	Има	29,4	14,7	11	50	Оперативна хала
6.	Нема	58,9	29,4	22,1	50	
7.	Има	13,7	6,8	5,1	5	Просторија за шнековање
8.	Нема	27,4	13,7	10,3	5	
9.	Има	15,3	7,6	5,7	7	Лаборација позиција
10.	Нема	30,6	15,3	11,5	7	
11.	Има	16	8	6	8	Сечење експлозива
12.	Нема	32	16	12	8	
13.	Има	14,5	7,2	5,4	6	Просторија за шнековање
15.	Нема	29	14,5	10,9	6	
16.	Има	17,2	8,6	6,45	10	Просторија за просејавање и допрему експлозива
17.	Нема	34,4	17,2	12,9	10	
18.	Има	37,1	18,6	13,9	100	Дневни магацин експлозива
19.	Нема	74,2	37,1	27,8	100	
20.	Има	33	16,5	12,4	70	Лаборација и фино чишћење пројектила
21.	Нема	66	33	24,7	70	
22.	Има	34,5	17,2	12,9	80	Лакирница
23.	Нема	69	34,5	25,9	80	
24.	Има	16,6	8,3	6,2	9	Дневни магацин упаљача и топовских каписли
25.	Нема	33,3	16,6	12,5	9	
26.	Има	35,8	17,9	13,4	90	Просторија за лабораторију, паковање и комплетирање муниције
27.	Нема	71,7	35,8	26,9	90	
28.	Има	31,3	15,6	11,7	60	Дневни магацин барута и барутних пуњења
29.	Нема	62,6	31,3	23,5	60	

Напомена: Подебљани подаци су коришћени као валидни подаци у прорачуну.

Према Хипотези 1. Сценарију 1.1. дошло је до детонације 120 kg НКЕ TNT-а експлозивне материје у међуфази технолошког поступка, у дневном магацину експлозива у објекту 156 – Погон артиљерија.

Провера елемената оспособљености запослених по технолошким поступцима и операцијама, а ради потврђивања могућих сценарија грешком у производњи и грешком појединанца у ланцу производње, извршена путем Кодних тестова. Кодни тестови израђени су израђени понаособ за запослене са високом стручном спремом и за запослене са средњом стручном спремом и приказани у прилозима 1. и 2.

13. УЗОРАК ИСПИТИВАЊА ЗАПОСЛЕНИХ

Имајући у виду да број запослених лица у предузећу Компанија „Слобода” а.д. Чачак, 1200 људи, одређен је репрезентативни узорак од 220 људи, што чини преко 20% од броја запослених лица на дан 21.02.2022. године. У табелама 13.1. до 13.5. приказана је структура узорка у опасном погону која је анкегирана.

Табела 13.1. Структура узорка по организацијским јединицама

Организацијска јединица	Број испитаника	%
Сектор за развој	35	30
Сектор за завршни квалитет проиводње	25	30
Производни погони за производњу и лабораторију	160	30
Σ	220	30%

Табела 13.2. Структура узорка по полу

Организацијска јединица	Мушки	Женски	Σ
Сектор за развој	-	-	-
Сектор за завршни квалитет проиводње	-	-	-
Производни погони за производњу и лабораторију	107	53	160
Σ	107	53	160
% у односу на узорак	67%	33%	100%

Табела 13.3. Структура узорка према годинама радног стажаза средњу стручну спрему

Године радног стажа	Број испитаника	%
до 10	21	13
11-20	59	37
21-30	36	23
31-40	32	20
41-45	12	7
Σ	160	100%

Табела 13.4. Структура узорка према годинама радног стажа за високу стручну спрему

Године радног стажа	Број испитаника	%
до 10	15	25
11-20	18	30
21-30	12	20
31-40	11	18
41-45	4	7
Σ	20	100%

Табела 13.5. Структура узорка према степену стручне спреме

Степен стручне спреме	Број испитаника	%
Средња стручна спрема (ССС)	160	20
Висока стручна спрема (ВСС)	60	20
Σ	220	20%

14. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА И ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Подаци добијени помоћу инструмента истраживања обрађени су, на следећи начин:

- извршено је кодирање свих података у упитнику из Прилога број 6. и 7., помоћу кодне листе дате у Прилогу број 8. и 9.,
- подаци са упитника су применом дескриптивне статистике били изражени мерама пребројавања у бази података у Прилогу број 10. и 11. и сви квантитативни подаци су пропраћени квалитативном анализом,
- од мера статистике закључивања, ради тестирања постављених хипотеза, примењен је:
 - ✓ χ^2 -тест⁴, (Mijanović, 1993), којим је утврђена вероватноћа постојања повезаности између посматраних обележија, по следећој формули:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(|f_o - f_t| - 0.5)^2}{f_t} \right] \quad (14.1)$$

где је:

χ^2 – Хи квадрат тест,
 \sum – збир,
 f_o – емпиријске или опажене фреквенције и
 f_t – теоријске или опажене фреквенције.

- ✓ у обрасцу (8) је употребљена Yates - ова корекција, имајући у виду да је очекивана вредност поља у контигенцијским табелама мања од пет,
- ✓ утврђивање f_t : теоријске или опажене фреквенције, извршен је на тај начин што је за свако поље контигенцијске табеле извршено множење суме реда са сумом колона те је извршена подела са тоталном сумом фреквенција контигенцијске табеле,
- ✓ утврђивање $GV\chi^2$ -граничне вредности Хи квадрата из табеле контигенције, вршено је у односу на α - ниво значајности од 0.05 према табели датој у Прилогу број 9, што је примењено у овом раду, у складу са добијеном вредношћу степена слободe који се прорачунавао по следећој формули:

$$df = (k - 1) \cdot (r - 1) \quad (14.2)$$

где је:

df – степен слободe,
 k – број колона контигенцијске табеле из које се Хи квадрат израчунава и
 r – број редова контигенцијске табеле из које се Хи квадрат израчунава.

- ✓ уколико је утврђено да **не постоје статистичке значајне разлике**, односно ако је **израчуната вредност Хи квадрат теста мања од граничне вредности Хи квадрата** ($\chi^2 < GV\chi^2$), из табеле у Прилогу број 9, онда се **прихвата општа нулта хипотеза у супротном се одбацује** и
- ✓ уколико је утврђено да **постоје статистичке значајне разлике**, односно ако је **израчуната вредност Хи квадрат теста већа од граничне вредности Хи квадрата** ($\chi^2 > GV\chi^2$), из табеле у Прилогу број 9, онда се **прихвата посебна хипотеза у супротном се одбацује**.

⁴ М. Мијановић, *Примјена Хи-квадрат теста у социолошким истраживањима*, (Никшић: Филозофски факултет Никшић, Луча X/1, 1993. година), стр. 185-189.

Табеле за приказ добијених резултата из инструмента истраживања, односно упитника приказане су даље у табелама од 14.1. до 14.14. и оне су контингенцијске табеле из којих се врши прорачун Хи квадрат теста ради тестирања посебних и опште хипотезе.

Табела 14.1. Утицај пола на степен стручне оспособљености о негативним ефектима продуката емисије приликом сагоревања или детонације експлозивних материја на животну средину за лица са средњом стручном спремом

	Обележје ⁵				$\Sigma (f_o)$
	РЕЗУЛТАТИ ССС				
	Оцена оспособљености ⁶				
	И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t	
мушки	59	64,8	49	43,2	108
женски	37	31,2	15	20,8	52
$\Sigma (f_o)$	96		64		160

У складу са подацима из Табеле 14.1., а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < GV\chi^2$, да се **прва посебна хипотеза** одбацује, односно закључује се да: **пол запосленог лица има утицај на ефикасност примене опреме за гашење пожара: хидраната и апарата за гашење пожара са прахом (стари тип).**

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да су припаднице женског у односу на мушки пол оспособљеније за употребу наведене опреме за гашење пожара.

Прва посебна хипотеза: Претпоставља се да међу запосленима у опасном погону постоји статистички значајна разлика у оспособљености о негативним ефектима емисије на животну средину у односу на пол за лица са средњом стручном спремом.

Табела 14.2. Прорачун χ^2 -Хи квадрата за тестирање 1. посебне хипотезе

Обележије питања: Тест, према подацима из Табеле 14.1.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_t	$f_o - f_t$	$(f_o - f_t - 0,5)^2$	$\frac{(f_o - f_t - 0,5)^2}{f_t}$
59	64,8	-5,8	39,7	0,61
49	43,2	5,8	28,09	0,65
37	31,2	5,8	28,09	0,90
15	20,8	5,8	28,09	1,35
Σ				3,51
Прорачун df - степена слободe, према обрасцу (9)				
K	r	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
5	4	4	3	12
Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	оцена хипотезе
12	0.05	21,026	3,51	прихвата се

⁵ Обележје је означено шифром питања из упитника датих у прилозима број 1 и 2 и односи се на све наредне табеле.

⁶ Оцена оспособљености дата је према оценама на питању из Упитника у прилозима број 4 и 6 у складу са критеријумима датим из Кодне листе у прилозима број 3 и 5. Оцене оспособљености су дате шифром према следећем: **И-испунио** и **НИ-није испунио** и односи се на све наредне табеле.

Табела 14.3. Утицај упознавања и оспособљавања лица са средњом стручном спремом са нивоима концентрације емисије експлозивне материје приликом производње и уништавања од стране стручних лица на поштовање технолошког поступка и предузимање мера услед акцидента

Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	НКИИЕПШУЕМ					НЕПИЕПЈС				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	66	80	94	80	160	73	80	87	80	160
не	94	80	66	80	160	87	80	73	80	160
$\Sigma (f_o)$	160		160		320	160		160		320

Друга посебна хипотеза: Претпоставља се да утицај упознавања и оспособљавања лица са средњом стручном спремом са нивоима концентрације емисије експлозивне материје приликом производње и уништавања од стране стручних лица није директно пропорционалан поштовању технолошког поступка и предузимању превентивних и корективних мера услед акцидента.

Табела 14.4. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 2. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица

Обележје питања: 12. НКИИЕПШУЕМ и 13. НЕПИЕПЈС, према подацима из Табеле 14.3.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_t	$f_o - f_t$	$(f_o - f_t - 0,5)^2$	$\frac{((f_o - f_t) - 0,5)^2}{f_t}$
66	80	-14	210,25	2,63
94	80	14	182,25	2,28
94	80	14	182,25	2,28
66	80	-14	210,25	2,63
73	80	-7	56,25	0,70
87	80	7	42,25	0,53
87	80	7	42,25	0,53
73	80	-7	56,25	0,70
Σ				12,28
Прорачун df - степена слободe, према обрасцу (9)				
K	r	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
5	8	4	7	28
Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	оцена хипотезе
28	0.05	41,337	12,28	прихвата се

У складу са подацима из Табеле 14.4., а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < GV\chi^2$, да се **друга посебна хипотеза одбацује**, односно закључује се да је утицај упознавања и оспособљавања лица са средњом стручном спремом са нивоима концентрације емисије експлозивне материје приликом производње и уништавања од стране стручних лица **директно пропорционалан** поштовању технолошког поступка и предузимању превентивних и корективних мера услед акцидента

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да су запослена лица која похађају, у односу на она која не похађају, показну вежбу гашења малих и средњих пожара, оспособљенија за правилно поступање у случају акцидента у опасном погону.

Табела 14.5. Утицај оспособљености из области заштите животне средине на практично спровођење мера заштите животне средине у опасном погону Компаније „Слобода” а.д. Чачак, поређењем средње и високе стручне спреме

Утицај оспособљавања из области заштита животне средине	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	ПЗУ ССС					ПЗУ ВСС				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	60	80	100	80	160	30	30	30	30	60
не	100	80	60	80	160	30	30	30	30	60
$\Sigma (f_o)$	160		160		320	60		60		120

У складу са подацима из Табеле 14.5., а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < GV\chi^2$, да се **општа хипотеза прихвата**, односно закључује се да **не постоји позитивни утицај оспособљености по темама из сценарија дефинисаног у Плану заштите од удеса на практично спровођење мера заштите животне средине у опасном погону и полигони за уништавање експлозивних средстава у предузећу „Слобода” Чачак, у односу на средњу и високу стручну спремину запослених лица**

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да запослена лица која су успешно завршила оспособљавање из области заштите животне средине, практично ефикасније спроводе мере заштите животне средине у опасном погону Компаније „Слобода” а.д. Чачак и Полигону „Миоковци”.

Трећа посебна хипотеза: *Претпоставља се да постоји позитивни утицај оспособљености по темама из сценарија дефинисаног у Плану заштите од удеса на практично спровођење мера заштите животне средине у опасном погону и полигони за уништавање експлозивних средстава у предузећу „Слобода” Чачак, у односу на средњу и високу стручну спремину запослених лица.*

Табела 14.6. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 3. посебне хипотезе за оспособљавање лица са високом стручном спремом од стране стручног лица

Обележје питања: 12. НКИИЕПШУЕМ и 13. НЕПИЕПЈС, према подацима из Табеле 14.5.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_t	$f_o \cdot f_t$	$(f_o - f_t - 0,5)^2$	$\frac{(f_o - f_t - 0,5)^2}{f_t}$
60	80	-20	420,25	5,25
100	80	20	380,25	4,75
100	80	20	380,25	4,75
60	80	-20	420,25	5,25
30	30	0	0,25	0,008
30	30	0	0,25	0,008
30	30	0	0,25	0,008
30	30	0	0,25	0,008
Σ				20,032
Прорачун df - степена слободе, према обрасцу (9)				
K	R	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
4	2	4	1	4
<i>Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$ хипотезе, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе</i>				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	<i>оцена хипотезе</i>
4	0.05	9,488	20,032	<i>одбацује се</i>

Табела 14.7. Утицај степена стручне оспособљености из области познавања законитости простирања ватреног облака и дисперзије продуката услед сагоревања или детонације не утиче на правилну израду технолошког поступка и прорачун максимално дозвољене нето количине експлозива у технолошком процесу рада и складишним просторијама и просторима

Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	5. КВЛиДПВО					7. ТНКП				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	46	30	14	30	60	39	30	21	30	60
не	14	30	46	30	60	21	30	39	30	60
$\Sigma (f_o)$	60		60		120	60		60		120
Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	10. КДЧИГ					14. ВОСППр				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	49	30	1	30	60	53	30	17	30	60
не	11	30	4	30	60	17	30	53	30	60
$\Sigma (f_o)$	60		60		120	60		60		120
Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	15. ВОСППо					20. ИПВКШП				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	54	30	6	30	60	21	30	39	30	60
не	6	30	5	30	60	39	30	21	30	60
$\Sigma (f_o)$	60		60		120	60		60		120
Практично спровођење мера заштите животне средине	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	21. ВЕЗПНО ₂ Е					21. ВЕЗПНО ₂ Е				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	26	30	34	30	60					
не	34	30	26	30	60					
$\Sigma (f_o)$	60		60		120					

У складу са подацима из Табеле 14.7., а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < G\sqrt{\chi^2}$, да се **трећа посебна хипотеза одбацује**, односно закључује се да: **степен стручне спреме има утицај на правилан рад са опасним материјама приликом мешања ракетног горива.**

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да виши степен стручне спреме по аутоматизму не значи и већи степен оспособљеност запослених лица за правилан рад са опасним материјама приликом мешања композитног ракетног горива.

Четврта посебна хипотеза: *Претпоставља се да постоји позитивни утицај оспособљености по темама из сценарија дефинисаног у Плану заштите од удеса на практично спровођење мера заштите животне средине у опасном погону и полигону за уништавање експлозивних средстава у предузећу „Слобода” Чачак, у односу на средњу и високу стручну спрему запослених лица.*

Табела 14.8. Прорачун вредности χ^2 - Хи квадрата за тестирање 4. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица

Обележје питања: 5. КВЛиДПВО; 7. ТНКП; 10. КДЧИГ; 14. ВОСППр; 15. ВОСППо; 20. ИПВКШП и 21. ВЕЗПНО ₂ Е, према подацима из Табеле 14.7.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_t	$f_o - f_t$	$(f_o - f_t - 0,5)^2$	$\frac{(f_o - f_t - 0,5)^2}{f_t}$
46	30	16	240,25	8
14	30	-16	272,25	9,07
14	30	-16	272,25	9,07
46	30	16	240,25	8
39	30	9	72,25	2,41
21	30	-9	90,25	3
21	30	-9	90,25	3
39	30	9	72,25	2,41
49	30	19	342,25	11,41
11	30	-19	380,25	12,67
11	30	-19	380,25	12,67
49	30	19	342,25	11,41
53	30	23	506,25	16,87
17	30	-13	182,25	6,07
17	30	-13	182,25	6,07
53	30	23	506,25	16,87
54	30	24	552,25	18,41
6	30	-24	600,25	20
6	30	-24	600,25	20
54	30	24	552,25	18,41
21	30	-9	90,25	3
39	30	9	72,25	2,41
39	30	9	72,25	2,41
21	30	-9	90,25	3
26	30	-4	20,25	0,67
34	30	4	12,25	0,41
34	30	4	12,25	0,41
26	30	-4	20,25	0,67
Σ				228,8
Прорачун df - степена слободe, према обрасцу (9)				
K	R	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
5	28	4	27	108
Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	оцена хипотезе
108	0,05	124,342	228,8	одбацује се

Табела 14.9. Утицај оспособљености из области познавања експлозивне материје са аспекта емисије продуката у животну средину не утиче на смањење или елиминисање негативних продуката технолошког поступка у производњи и лабораторији експлозивних материја

Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				Σ (f_o)	Обележје				Σ (f_o)
	8. ПАП					9. ГПЕП				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	54	30	6	30	60	41	30	19	30	60
не	6	30	54	30	60	19	30	41	30	60
Σ (f_o)	60		60		120	60		60		120
Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				Σ (f_o)	Обележје				Σ (f_o)
	12. ГУНЖС					13. ГНУСП				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	И		НИ			И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t		f_o	f_t	f_o	f_t	
да	41	30	19	30	60	39	30	21	30	60
не	19	30	41	30	60	21	30	39	30	60
Σ (f_o)	60		60		120	60		60		120
Практично спровођење мера заштите животне средине	Обележје				Σ (f_o)					
	18. ПКУНИМУУБС									
	Оцена оспособљености									
	И		НИ							
	f_o	f_t	f_o	f_t						
да	53	30	17	30	60					
не	17	30	53	30	60					
Σ (f_o)	60		60		120					

У складу са подацима из Табеле 14.9., а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < GV\chi^2$, да се општа хипотеза прихвата, односно закључује се да: *постоји утицај оспособљености из области познавања експлозивне материје са аспекта емисије продуката у животну средину на смањење или елиминисање негативних продуката технолошког поступка у производњи и лабораторији експлозивних материја*

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да запослена лица која су успешно завршила оспособљавање из области заштите животне средине, практично ефикасније спроводе мере заштите животне средине у опасном погону „Слобода” Чачак.

Пета посебна хипотеза: Претпоставља се да постоји позитивни утицај оспособљености из области познавања експлозивне материје са аспекта емисије продуката у животну средину на смањење или елиминисање негативних продуката технолошког поступка у производњи и лабораторији експлозивних материја (Извор: Обрада аутора).

Табела 14.10. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 5. посебне хипотезе за оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица

Обележје питања: 8. ПАП; 9. ГПЕП; 12. ГУНЖС; 13. ГНУСП и 18. ПКУНИМУУ6С према подацима из Табеле 14.9.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_t	$f_o - f_t$	$(f_o - f_t - 0,5)^2$	$\frac{(f_o - f_t - 0,5)^2}{f_t}$
54	30	24	552,25	18,41
6	30	-24	600,25	20
6	30	-24	600,25	20
54	30	24	552,25	18,41
41	30	11	110,25	3,67
19	30	-11	132,25	4,41
19	30	-11	132,25	4,41
41	30	11	110,25	3,67
41	30	11	110,25	3,67
19	30	-11	132,25	4,41
19	30	-11	132,25	4,41
41	30	11	110,25	3,67
39	30	9	72,25	2,41
21	30	-9	90,25	3
21	30	-9	90,25	3
39	30	9	72,25	2,41
53	30	23	506,25	16,87
17	30	-13	182,25	6,07
17	30	-13	182,25	6,07
53	30	23	506,25	16,87
Σ				165,84
Прорачун df - степена слободe, према обрасцу (9)				
K	R	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
5	20	4	19	76
Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	оцена хипотезе
76	0,05	90,531	165,84	одбацује се

Табела 14.11. Утицај оспособљености из познавања метода уништавања експлозивних материја и убојних средстава (УБС) на отвореном на смањење или елиминисање негативних продуката приликом сагоревања или детонације експлозивне материје

Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	6. ПОХРНИЕМ					16. МУУБССПр				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	f_o	f_i	f_o	f_t		f_o	f_i	f_o	f_t	
да	58	30	2	30	60	58	30	2	30	60
не	2	30	58	30	60	2	30	58	30	60
$\Sigma (f_o)$	60		60		120	60		60		120
Утицај оспособљавања радника од стране стручних лица	Обележје				$\Sigma (f_o)$	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	17. МУУБССФНКОП					19. ООМУУБСК				
	Оцена оспособљености					Оцена оспособљености				
	f_o	f_i	f_o	f_t		f_o	f_i	f_o	f_t	
да	56	30	4	30	60	46	30	14	30	60
не	4	30	56	30	60	14	30	46	30	60
$\Sigma (f_o)$	60		60		120	60		60		120

У складу са подацима из Табеле 14.11. а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < GV\chi^2$, да се пета посебна хипотеза одбацује, односно закључује се да: *постоји утицај оспособљености из познавања метода уништавања експлозивних материја и убојних средстава (УБС) на отвореном на смањење или елиминисање негативних продуката приликом сагоревања или детонације експлозивне материје*

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да запослена лица која су успешно завршила оспособљавање из области заштите животне средине, практично ефикасније спроводе мере заштите животне средине на полигону „Миоковцу”, власништво предузећа „Слобода” Чачак.

Шеста посебна хипотеза: *Претпоставља се да постоји позитивни утицај оспособљености из познавања метода уништавања експлозивних материја и убојних средстава (УБС) на отвореном на смањење или елиминисање негативних продуката приликом сагоревања или детонације експлозивне материје.*

Табела 14.12. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање б. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица

Обележје питања: 6. ПОХРНИЕМ; 16. МУУБССПр; 17. МУУБССФНКОП и 19. ООМУУБСК према подацима из Табеле 14.11.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_t	$f_o - f_t$	$(f_o - f_t - 0,5)^2$	$\frac{(f_o - f_t - 0,5)^2}{f_t}$
58	30	28	756,25	25,21
2	30	-28	812,25	27,07
2	30	-28	812,25	27,07
58	30	28	756,25	25,21
58	30	28	756,25	25,21
2	30	-28	812,25	27,07
2	30	-28	812,25	27,07
58	30	28	756,25	25,21
56	30	26	650,25	21,67
4	30	-26	702,25	23,41
4	30	-26	702,25	23,41
56	30	26	650,25	21,67
46	30	16	240,25	8
14	30	-16	272,25	9,07
14	30	-16	272,25	9,07
46	30	16	240,25	8
Σ				333,42
Прорачун df - степена слободe, према обрасцу (9)				
K	R	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
5	16	4	15	60
Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	оцена хипотезе
60	0,05	79,082	60	прихвата се

Табела 14.13. Утицај степена стручне спреме на поштовање технолошког поступка производње, складиштења, примене методе уништавања и оптимални ниво емисије испарења и продуката експлозивних маерија у животну средину

Степен стручне спреме	Обележје				$\Sigma (f_o)$
	СУМАРНИ РЕЗУЛТАТ				
	Оцена оспособљености				
	И		НИ		
	f_o	f_t	f_o	f_t	
ВКВ	58	42	12	20,73	60
ВСС	96	112	64	55,27	160
$\Sigma (f_o)$	154		76		220

У складу са подацима из Табеле 14.13., а према извршеном прорачуну, утврђено је да је вредност $\chi^2 < GV\chi^2$, да се трећа посебна хипотеза одбацује, односно закључује се да: *степен стручне спреме утиче на поштовање технолошког поступка производње, складиштења, примене методе уништавања и оптимални ниво емисије испарења и продуката експлозивних маерија у животну средину.*

Анализом резултата може се такође доћи до закључка да виши степен стручне спреме по аутоматизму не значи и већи степен оспособљеност запослених лица за правилан рад са опасним материјама приликом мешања композитног ракетног горива.

Седма посебна хипотеза: *Претпоставља се да постоји позитивни утицај степена стручне спреме на поштовање технолошког поступка производње, складиштења, примене методе уништавања и оптимални ниво емисије испарења и продуката експлозивних материја у животну средину.*

Табела 14.14. Прорачун вредности χ^2 -Хи квадрата за тестирање 7. посебне хипотезеза оспособљавање лица са средњом стручном спремом од стране стручног лица

Обележје питања: ССС и ВСС према подацима из Табеле 14.13.				
Прорачун χ^2 - Хи квадрата, према обрасцу (8)				
f_o	f_i	$f_o - f_i$	$(f_o - f_i - 0,5)^2$	$\frac{(f_o - f_i - 0,5)^2}{f_i}$
58	42	16	240,25	5,72
12	20,73	-8,73	85,19	4,11
96	112	-16	272,25	2,43
64	55,27	8,73	85,19	1,54
Σ				13,8
Прорачун df - степена слободe, према обрасцу (9)				
K	R	$(k - 1)$	$(r - 1)$	$(k - 1) \cdot (r - 1)$
5	4	3	3	9
Утврђивање граничне вредности $GV\chi^2$, према табели у Прилогу број 8 и оцена хипотезе				
df	α	$GV\chi^2$	χ^2	оцена хипотезе
9	0,05	16,919	13,8	прихвата се

Анализом добијених резултата из анкете са запосленим лицима (са средњом стручном спремом 160 лица и са високом стручно спремом 60 лица) у Компанији „Слобода” а.д. Чачак, при чему је утврђено да је ниво оспособљености стручних лица запослених у Компанији „Слобода” а.д. Чачак из познавања експлозивних материја са аспекта емисије продуката у животну средину **је у корелацији** познавања превентивних мера и евентуалног корективног поступања у циљу смањења или неутралисања емисије продуката у животну средину у технолошким процесима рада или самозапаљења услед деградације елемената.

15. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА МОДЕЛОВАЊА УПОРЕДНОМ АНАЛИЗОМ СОФТВЕРСКИХ АПЛИКАЦИЈА „ADORA” И „ALOHA” И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ МЕРЕЊА

Широм света постоје велике количине вишкова, застареле или неупотребљиве муниције. Пре три године војска Сједињених Држава је имала залихе од скоро 400.000 тона и скоро 60.000 тона се додаје сваке године овој количини ([National Academies of Sciences, 2019](#)).

Развијене земље имају финансијска средства да униште вишак експлозива и муниције или плаћају другим земљама да се саме позабаве овим питањем. Уништавање врше применом прихватљивих метода са аспекта заштите животне средине у затвореним системима са контролом емисије производа, , неразвијене државе или државе у развоју обично решавају проблем на еколошки неприхватљив начин – отвореним паљењем (ОП) и отвореном детонацијом (ОД) – начин који подразумева уништавање и угрожавање животне средине.

Овај проблем је релевантан за земље Западног Балкана, као и за остале државе региона Југоисточне Европе (СЕЕ). Међутим, велика већина грађана како у развијеним земљама тако иу земљама у развоју, као и разне организације (посебно еколошке НВО), разумно су забринути због краткорочних и дугорочних последица по људско здравље и животну средину (ХХ&Е). по ОБ и ОД активностима, ([SALW ammunition destruction-environmental releases from open burning \(OB\) and open detonation \(OD\) events, 2004](#)).

Решавање наведених питања није лак задатак. Један од значајних проблема односи се на недостатак знања потребног за процену и процену података о ОБ и ОД емисијама који се односе на ситуацију на терену, као и недостатак вештина потребних за коришћење информација за процену стварног ризика од ОБ или ОД. представља околини.

Различите технике за предвиђање загађења ваздуха тј. емисије загађујућих материја су користили различити аутори за различите проблеме. Истраживачи, ([Djebbri i Rouainia, 2018](#)) предвидели су „две концентрације загађивача (Nox и CO) у индустријским локацијама помоћу неуронске мреже засноване на модификованој радијалној базној функцији (МБФ)”, развијен модел „вештачке неуронске мреже (ВНМ) за предвиђање загађења ваздуха” у Србији. У овој студији, регресионо моделирање је примењено на податке који показују факторе емисије различитих загађујућих материја насталих од ОБ и ОД експлозива. Циљ је био да се одреде једначине регресије које би могле да омогуће предвиђање најчешћих продуката детонације као што су угљен-диоксид (CO₂), угљен-моноксид (CO), азот-оксид (NO), азот-диоксид (NO₂), метан (CH₄), укупни не-метан угљоводоници (TNMX) и бензен (C₆H₆) који су представљали сурогат за испарљива органска једињења (VOC) и праве корелацију између израчунатих резултата и експерименталних вредности. „ADORA” (Атмосферска дисперзија реактивних агенаса), ([Moussai Deverakonda, 2014; Moussaetal., 1998](#)) и „ALOHA” (*Areal Location of Hazardous Atmosferes*), ([ALOHA-the atmospheric dispersion modelin CANEO software suite developed jointly by the National Oceanic and Atmospheric Administration \(NOAA\) andtheU.S. Departmentof Commerce, 2013](#)), модели су коришћени у циљу корелације, потврђивања или оповргавања претпостављених међузависности.

Програм „ADORA” израчунава састав и дисперзију облака који су резултат реактивних хемикалија које се испуштају у атмосферу. Потребан је само састав реактанта, локално пражњење и услови околине, као и улазни подаци за ове прорачуне. Под претпоставком да је облик облака познат (сферични пуф за експлозију приказан у водећем броду за ватру, решава очување једначине масе, момента, енергије и типа у интегралној формулацији.

15.1. Експлозиви

Експлозив се може дефинисати као квази-стабилна хемикалија која брзо прелази из чврстог или течног у гасовито стање након активације или детонације. Екстремно повећање притиска услед еволуције гаса доводи до експлозије, са енергијом која се ослобађа у функцији термодинамичких својстава експлозива. Високоексплозивне молекуле често карактерише алифатична или ароматична структура са

супституисаним нитро групама. Ова једињења имају регионе веома различитих оксидационо-редукционих потенцијала тако да, када детонирају, ослобађају велику количину топлоте, формирају ударни талас и ослобађају различите гасовите продукте, различите гасове кроз брзе интра и интермолекуларне оксидационе реакције. Енергија активације потребна за процес детонације може се обезбедити ударним таласима високог притиска, трењем, струјом или топлотом.

Експлозивни се обично класификују на основу њихове брзине детонације. Кључни параметри класификације експлозива су брзина и осетљивост детонације. Постоје ниски (пропелент) и високи (детонирајући) експлозивни. Ниски експлозивни (нпр. црни барут, бездимни барут, нитроцелулоза, итд.) реагују споро и брзо горе уместо да детонирају. Високи експлозивни, напротив, брзом детонацијом производе екстремне притиске. Они могу произвести вршни притисак од 36.000 до 360.000 атмосфера за мање од четири микросекунде. Детонација такође производи ватрену лопту од 2 до 10 секунди. Високи експлозивни су стабилнији на детонацију од ниских експлозива; њихова детонација се покреће прекорачењем веће енергије активације кроз удар. Ови експлозивни се одликују брзином детонације до 6400 м/с, док ниски експлозивни имају ову вредност у распону од 80 м/с. Поред тога, високе експлозиве је могуће поделити у три групе на следећи начин (узимајући у обзир њихову хемијску структуру): алифатски нитратни естри (естри азотне киселине), нитрамини и нитроаромати. Примери високих експлозива према Ватсу, (Watts, 1998) су: TNT, RDX (1,3,5-тринитроперхидро-1,3,5-триазин – хексоген), састав Б (експлозив који садржи приближно 59,5% RDX, 39,5% TNT и 1% воска) и PETN (пентаеритритол тетранитрат).

15.2. Експериментално испитивање

У овом раду су испитане међузависности добијених параметара емисије производа детонацијом TNT-а и састава Б.

Процес хемијске реакције, од момента покретања експлозива до детонационе реакције, ствара продукте детонације који се шире у гасовитом, течном или чврстом стању. Као резултат, појављује се груби детонациони облак. Како се овај процес детонације наставља, ослобођени производи се таложе у земљишту, води или остају у ваздуху неко време. Важно је истаћи да може доћи до потпуне или непотпуне детонације и да се стога могу користити различите методе израчунавања коефицијената емисије. Сходно томе, различити механизми распадања експлозива доводе до различитих количина продуката распадања.

Теренско истраживање је спроведено на основу произвољно одабраних узорака експлозива и састава ради условне и конструктивне анализе добијених емисионих концентрација одабраних експлозива. Предвиђање токсичних емисија детонацијом експлозива и селекција узорака вршена је према методологији објављеној у радовима и извештајима, (Muthurajani How-Ghee, 2008; Abdul-Karim et al., 2016; Mitchell i Suggs, 1998; Aurell et al., 2015; USEPA, 2017; Johnson, 1992). Регресионом анализом остварена је компаративна анализа добијених резултата са експерименталним подацима.

Метода линеарне регресије омогућава истраживачу да направи предвиђања о једној променљивој на основу информација које су познате о другој променљивој. Овај метод се може користити у случају две континуалне променљиве – независне и зависне. Независна променљива је параметар који се користи за израчунавање зависне променљиве или исхода.

С друге стране, модел вишеструке регресије се протеже на неколико објашњавајућих варијабли. Вишеструка регресија је статистичка техника која користи више дескриптивних варијабли да би се предвидели резултати одговора варијабле. Циљ вишеструке линеарне регресије (МЛР) је моделирање линеарне везе између променљивих објашњења и варијабле одговора. Ова врста анализе је математички модел који укључује једну независну и неколико зависних варијабли. Тестирање и истраживање зависности захтева цртање дијаграма распршивања, који представља однос (зависност) између променљивих. Графикон омогућава визуелни приказ зависности између променљивих, односно емисија производа, њиховог карактера и интензитета.

Подаци који су коришћени као изворни експериментални подаци, добијени су тестирањем, анализом и прорачуном у одговарајућим софтверским програмима „ADORA” (Atmospheric Dispersion of Reactive Agents) и „ALOHA” the atmospheric dispersion modelin „CAMEO” software by „EPA” и „CHEETAN” програму у неидеалној термохемијској равнотежи.

За наведене дијаграме расипања коефицијената емисије по методама у функцији времена је извршен прорачун вишекритеријумске регресионе анализе које ће бити приказан у табелама 90 до 93 за TNT - „ADORA”, 4 TNT – „ALOHA” E/A = 0.43, 5 TNT – „ALOHA” E/A = 0.25, 6 TNT/RDX (60/40%) - „ADORA”, 7 TNT/RDX (60/40%) – „ALOHA” E/A = 0.25, 8 TNT/RDX (60/40%) - „ALOHA” E/A = 0.25. Упоредјујући вредности добијених коефицијента путем експерименталне методе за експлозиве TNT и TNT/RDX (60/40%), може се закључити следеће:

Коефицијенти емисије продукта TNT за експериментални метод показује:

$$R^2 = 0.0636, \text{ а за методе}$$

„ADORA” $R^2 = 0.0713$, прихватљиво одступање параметара,
„ALOHA” E/A = 0.43 $R^2 = 0.1383$, највеће одступање параметара и
„ALOHA” E/A = 0.25 $R^2 = 0.0616$, прихватљиво одступање параметара

Коефицијенти емисије продукта TNT за експериментални метод показује:

$$R^2 = 0.0687, \text{ а за методе}$$

„ADORA” $R^2 = 0.0716$, прихватљиво одступање параметара
„ALOHA” E/A = 0.67 $R^2 = 0.0923$, највеће одступање параметара
„ALOHA” E/A = 0.43 $R^2 = 0.0612$, прихватљиво одступање параметара.

15.3. Инструментација и метода анализа резултата експерименталног испитивања

Резултати испитивања изражени су у облику фактора емисије који дефинише однос масе производа у облаку формираном након детонације на крају хемијских реакција према оригиналној маси експлозивног материјала. Током сваког теста праћени су услови околине (температура, влага, брзина ветра, надморска висина и атмосферски услови). Приликом мерења праћено је и кретање облака у функцији времена, али за овај истраживачки рад то није био предмет анализе већ само крајњи коефицијенти емисије добијени свођењем на амбијентне услове.

Прорачун продукта детонације путем софтвера „CEA” и „CHEETAN” кодна узорка експлозива TNT, Композиције Б1 и Композиције Б2, је вршен да би се имао нулти резултата продукта на основу кога је вршено поређење путем метода „ALOHA” и „ADORA”. Односно резултат је представљао еталон мерење за поређење добијених резултата путем наведених метода. Резултати добијени путем софтвера „CEA”code и „CHEETAN” code су приказани у Табели 15.1.

Табела 15.1. Прорачунски и експериментални резултати коефицијената емисије продуката детонације експлозива TNT и TNT/RDX (60/40%). Подаци генерисани помоћу софтвера „СНЕЕТАН” за прорачун путем једначине за неидеалну гасну равнотежу и софтвера „СЕА” за прорачун путем једначине за идеалну гасну равнотежу (Mitchell i Suggs, 1998)

Параметар	TNT	Композиција Б1	Композиција Б2
Густина (g/cc)	1.654	1.74581	-
P ₀ (bar)	1	1	1
V ₀ (cc/g)	0.60449	0.57198	-
E ₀ (cal/g)	-78.4265	14.14103	14.16
Притисак (bar)	191869	282121.4	290188.4
Специфична запремина (cc/g)	0.454	0.4301	0.04256
Температура (K)	3685	4035.6	3834.9
N ₂	0.1365	.0.2542	0.2588
H ₂ O	0.2266	0.2903	0.1468
CO ₂	0.1303	0.1444	0.0738
CO	0.5797	0.0382	0.3579
NO	0.0000435	0.00132	0.000176
CH ₄	0.000135	0.00000603	0.01460
C ₂ H ₄	0.0000575	0.0000258	0.000901
H ₂	0.0000589	0.0000129	0.0817
CH ₂ OH	0.0000151	0.0000711	0.000215
O ₂	0.00000328	0.0000176	0.00000179
NH ₃	0.0000113	0.000000362	0.0155
CH ₂ O	0.0000012	0.000000000226	< 10-15
C*	0.4480	0.2723	< 10-15

На основу резултата анализирани су вредности и формирана скала од најмање до највише вредности у функцији типа и врсте експлозивне материје. Подаци су приказани у Табели 15.2.

Табела 15.2. Скала формирана од измерених резултата продуката емисије у функцији врсте и типа експлозивне супстанце

Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података	CO ₂						
1.	TNT	„ALOHA” E/A=0.43	1360						
2.	TNT	Измерена вредност	1280						
3.	TNT	„ADORA”	1260						
4.	TNT/RDX	„ADORA”	980						
5.	TNT	„ALOHA” E/A=0.25	920						

Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података	CO ₂						
6.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A=0.43	900						
7.	TNT/RDX	Измерена вредност	870						
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A=0.67	750						
Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података		CO					
1.	TNT	„ALOHA” E/A=0.43		280					
2.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A=0.67		97					
3.	TNT	„ADORA”		58					
4.	TNT	Измерена вредност		49					
5.	TNT/RDX	„ADORA”		48					
6.	TNT/RDX	Измерена вредност		31					
7.	TNT	„ALOHA” E/A=0.25		0					
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A=0.43		0					
Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података			NO				
1.	TNT	„ADORA”			2				
2.	TNT/RDX	„ADORA”			1.7				
3.	TNT	Измерена вредност			1.4				
4.	TNT/RDX	Измерена вредност			0.8				
5.	TNT	„ALOHA” E/A=0.25			0.03				
6.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A=0.43			0.01				
7.	TNT	„ALOHA” E/A=0.43			0				
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A=0.67			0				

Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података				NO2			
1.	TNT	Измерена вредност				1.4			
2.	TNT	„ADORA”				1.2			
3.	TNT/RDX	Измерена вредност				1			
4.	TNT/RDX	„ADORA”				1			
5.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.43				0			
6.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.25				0			
7.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.67				0			
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.43				0			
Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података					CH4		
1.	TNT/RDX	„ADORA”					1.7		
2.	TNT	Измерена вредност					1.5		
3.	TNT	„ADORA”					1		
4.	TNT/RDX	Измерена вредност					0.6		
5.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.43					0.19		
6.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.25					0		
7.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.67					0		
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.43					0		
Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података						TNМН	
1.	TNT	„ADORA”						2.3	
2.	TNT/RDX	Измерена вредност						2.1	
3.	TNT	Измерена вредност						1.2	
4.	TNT/RDX	„ADORA”						0.85	
5.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.43						0	
6.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.25						0	
7.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.67						0	
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.43						0	

Скала вредности	Експлозивна материја	Извор података							С ₆ Н ₆
1.	TNT/RDX	„ADORA”							0.18
2.	TNT	„ADORA”							0.14
3.	TNT	Измерена вредност							0.1
4.	TNT/RDX	Измерена вредност							0.062
5.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.43							0
6.	TNT	„ALOHA” E/A = 0.25							0
7.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.67							0
8.	TNT/RDX	„ALOHA” E/A = 0.43							0

^aE/A = 0.43 и E/A = 0.67 су коефицијенти за предвиђање односа ваздуха детонационом облаку и може бити у интервалу од 0.25 до 1.5.

Скала формирана од добијених резултата емисије продуката у функцији врсте експлозивне материје. Прорачунски добијени резултати употребом софтверских пакета „ADORA” (Atmospheric Dispersion of Reactive Agents) и „ALOHA” the atmospheric dispersion modelin „CAMEO” software by „EPA” као и измерени резултати на основу експерименталне детонације на отвореном су на основу претходно наведене скале у Табели 91 анализирани путем дијаграма расипања који ће бити приказани и објашњени у наредном поглављу.

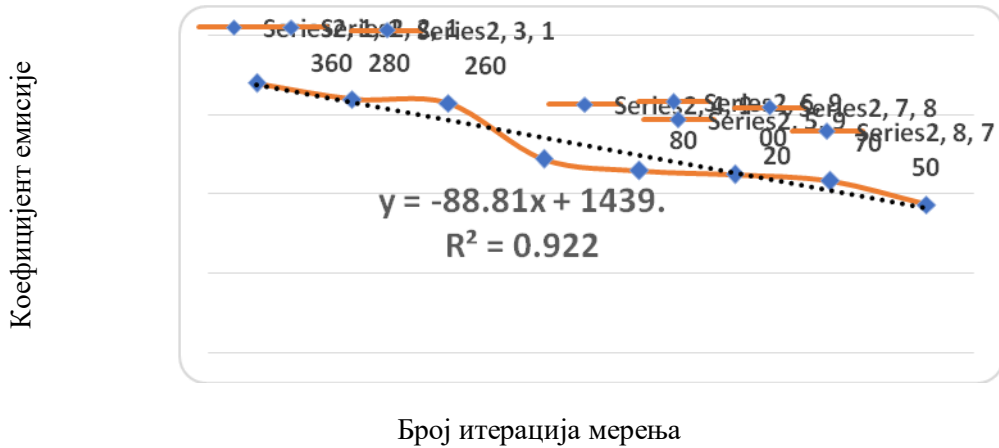
Резултати су изражени у виду емисионих фактора који дефинишу однос масе производа у облаку насталом након детонације на крају хемијских реакција према оригиналној маси експлозивног материјала. Током сваког теста, праћени су услови околине као што су температура, влажност, брзина ветра, надморска висина и атмосферски услови, као и кретање облака у функцији времена. Међутим, у овом истраживању предмет анализе су били само коначни емисиони коефицијенти, у Табела 15.3., добијени свођењем на амбијенталне услове.

Табела 15.3. Експериментални и прорачунати резултати коефицијената емисије TNT-а и производа детонације Композиције Б

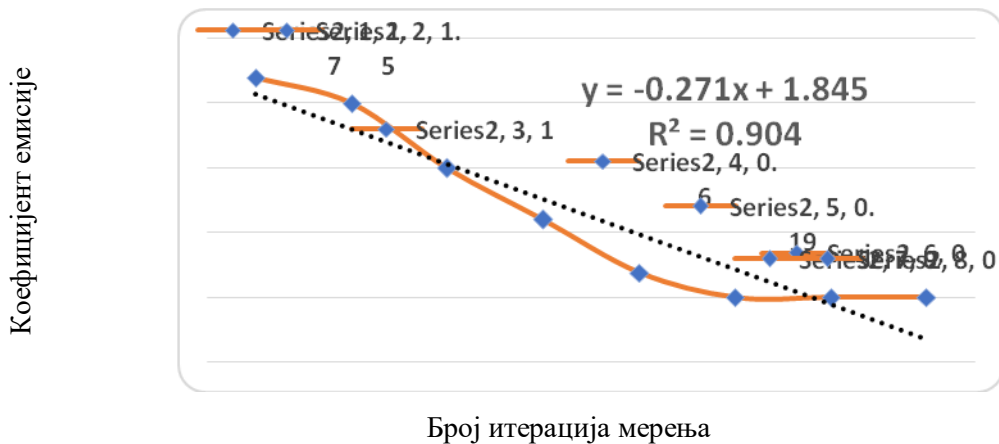
Експлозивна материја	Продукти		CO ₂	CO	NO	NO ₂	CH ₄	TNMH	C ₆ H ₆
	Подаци								
TNT	Мерене вредности		1280	49	1.4	1.4	1.5	2.1	0.1
	„ADORA”		1260	58	2	1.2	1	0.85	0.14
	„ALOHA”	E/A=0.43	920	280	0	0	0.19	0	0
		E/A=0.25	1360	0	0.03	0	0	0	0
Композиција Б	Мерене вредности		870	31	0.8	1	0.6	1.2	0.062
	„ADORA”		980	48	1.7	1	1.7	2.3	0.18
	„ALOHA”	E/A=0.67	750	97	0	0	0	0	0
		E/A=0.43	900	0	0.01	0	0	0	0

*E/A (однос увученог ваздуха) су коефицијенти за предвиђање односа ваздуха у детонационом притиску и могу се кретати од 0,25 до 1,5 (конкретно за овај рад од 0,25 до 0,67).

Подаци о емисијама производа коришћени су за регресиону анализу за одређивање односа и вредности нивоа концентрација за чисти TNT и Композицију Б. На основу ових резултата анализирани су вредности и формирана је скала од најниже до највише вредности као функција, врсте експлозивне материје. Ови подаци су коришћени за конструкцију скупа дијаграма расејања приказаних на сликама 157. до 163. Дијаграми су распоређени према емисионим продуктима детонације TNT-а и Композиције Б. Такође садрже једначину и линеарни тренд као и вредност коефицијента R^2 који показује расејаност добијених података. Вредности на к-оси представљају број итерација мерења, док су вредности на у-оси везане за емисионе коефицијенте анализираних производа.

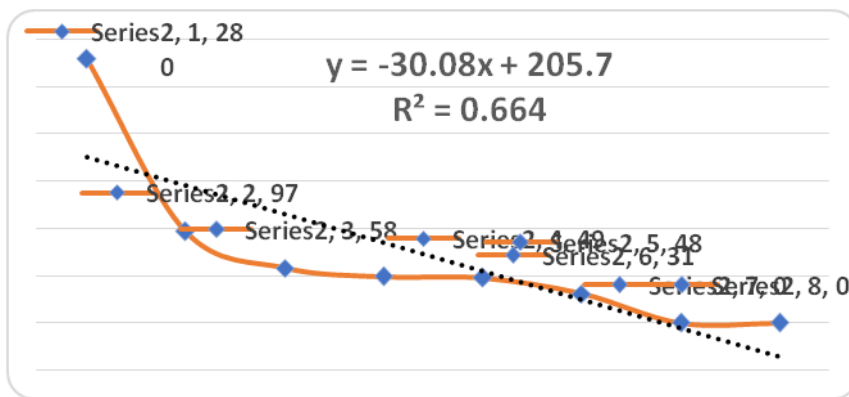


Слика 15.1. Дијаграм расејања коефицијента емисије за CO_2



Слика 15.2. Дијаграм расејања коефицијента емисије за CH_4

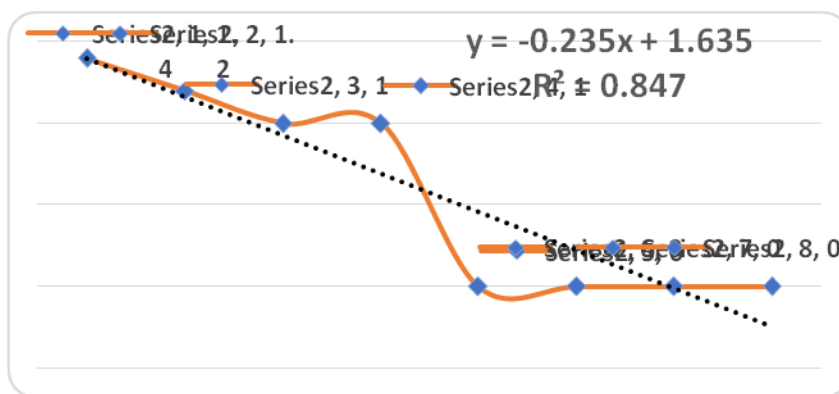
Коефицијент емисије



Број итерација мерења

Слика 15.3. Дијаграм расејања коефицијента емисије за CO

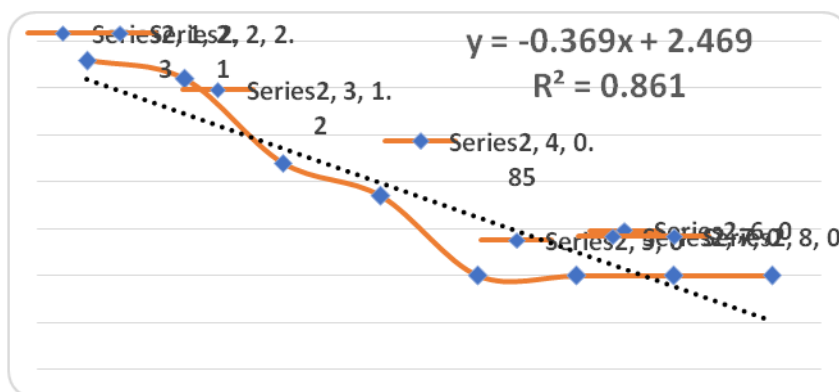
Коефицијент емисије



Број итерација мерења

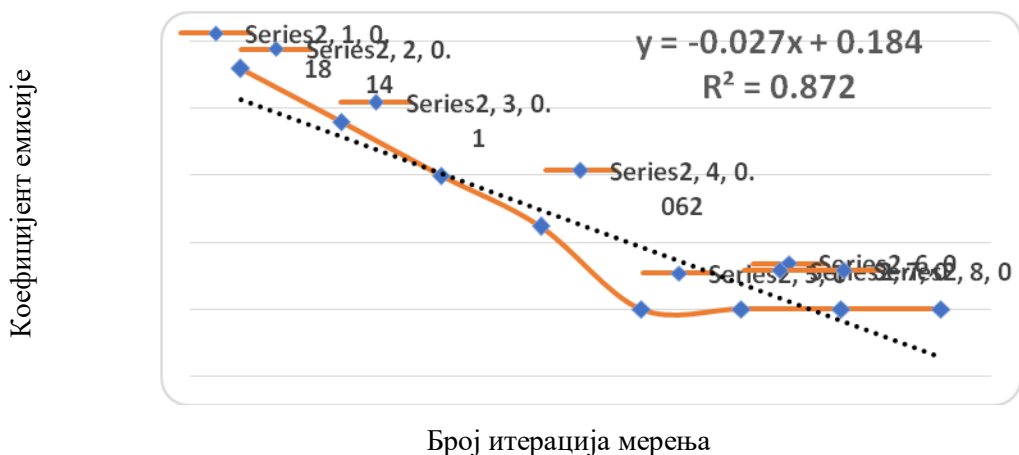
Слика 15.4. Дијаграм расејања коефицијента емисије за NO₂

Коефицијент емисије

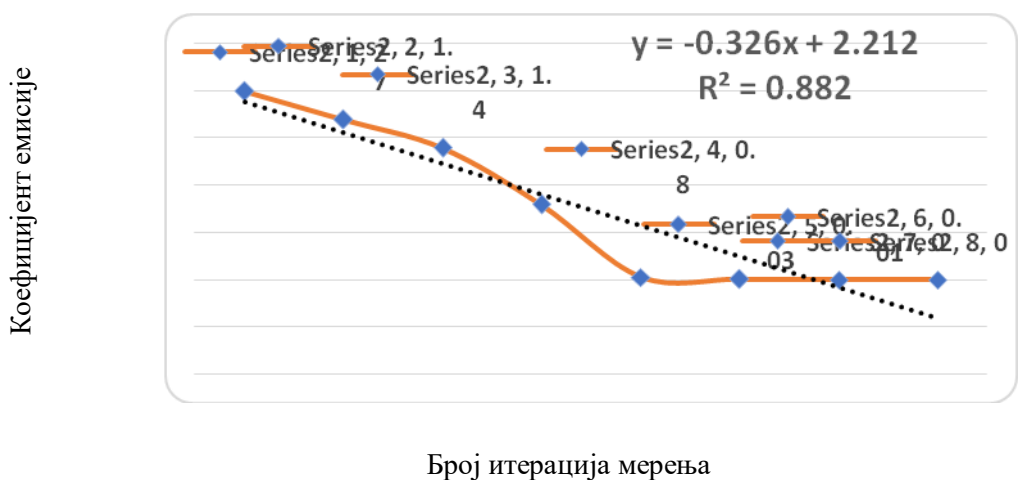


Број итерација мерења

Слика 15.5. Дијаграм расејања коефицијента емисије за THMX



Слика 15.6. Дијаграм расејања коефицијента емисије за C₆H₆



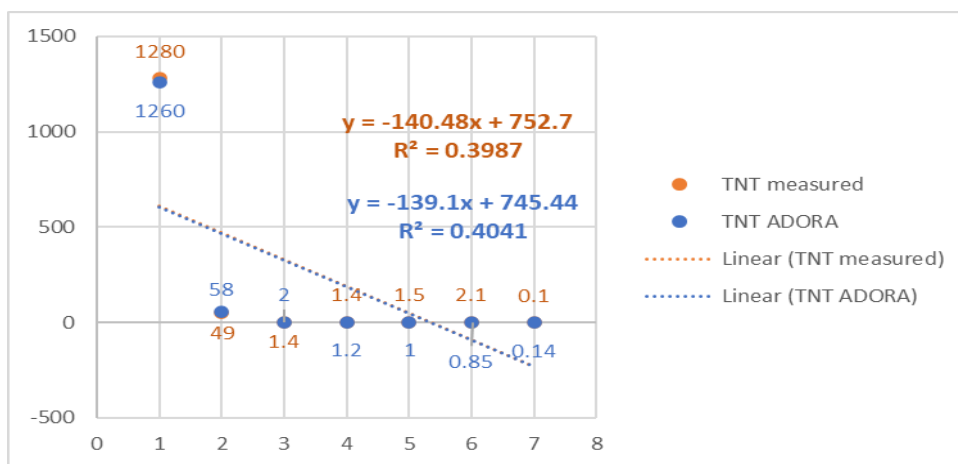
Слика 15.7. Дијаграм расејања коефицијента емисије за NO

Најбоља вредност коефицијента P2 добијена је у случају CO₂ (0,9227), док је најнижа вредност одређена у случају CO (R² = 0,6643). Приказан је градијент расејања од највећег до најмањег коефицијента емисије за анализирани производе, Табела 15.4. Могло би се тврдити да вредности R² припадају ширем опсегу, па је сходно томе могуће размотрити различите нивое поузданости резултата испитивања.

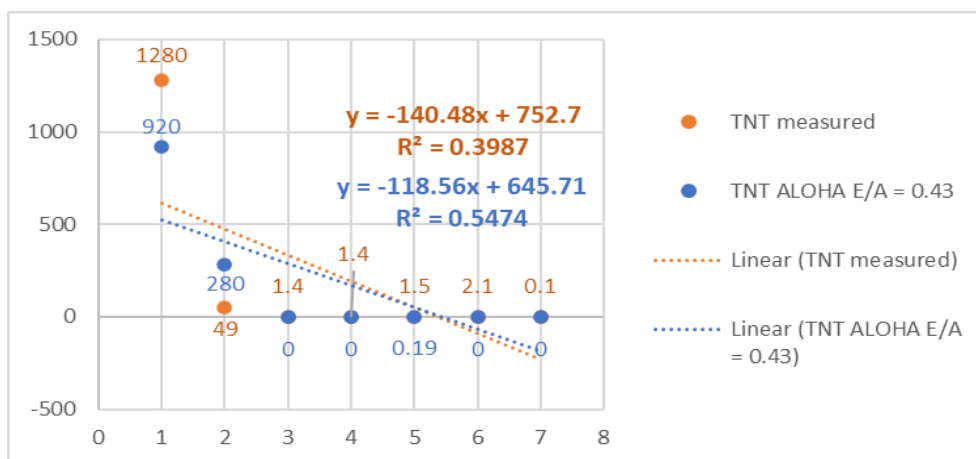
Табела 15.4. Градијент расејања за коефицијенте емисије анализираних производа

Анализирани продукт	CO ₂	CH ₄	CO	NO	C ₆ H ₆	TMNH	NO ₂
Емисиони коефицијент (R ²)	0.9227	0.9046	0.6643	0.8822	0.872	0.8614	0.847

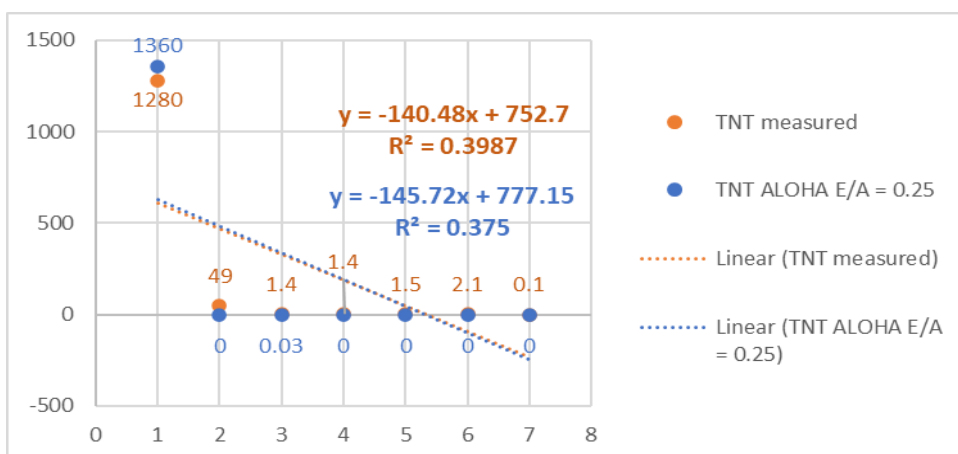
Резултати прорачуна коришћењем „ADORA” и „ALONA” модела у функцији измерених коефицијената и вишекритеријумске регресионе анализе приказани су дијаграмима расејања на сликама од 15.1. до 15.7. Вредности на X-оси представљају број итерација мерења, док су вредности на и-оси везане за емисионе коефицијенте анализираних производа. Једначине и линеарне линије тренда су такође приказане на дијаграмима као и вредности коефицијента R² за обе методе прикупљања података – мерење (експериментално) и прорачуне.



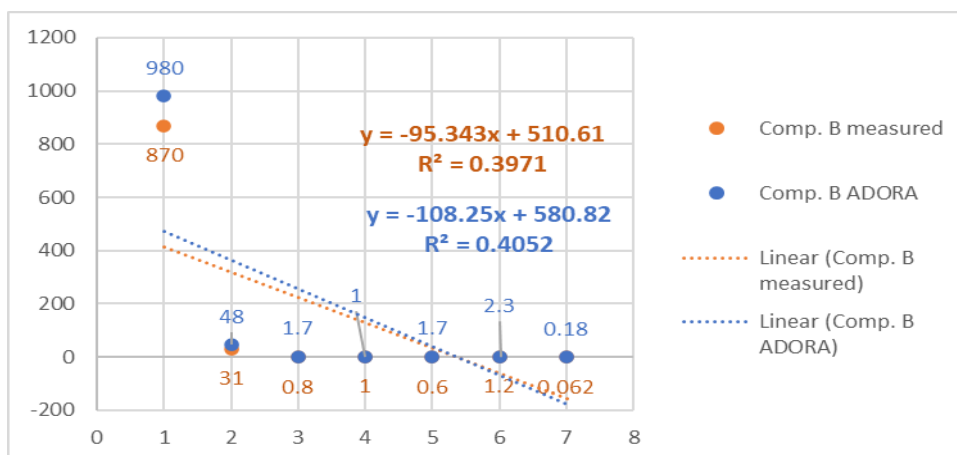
Слика 15.8. Емисиони коефицијенти TNT-а – мерено и израчунато („ADORA”)



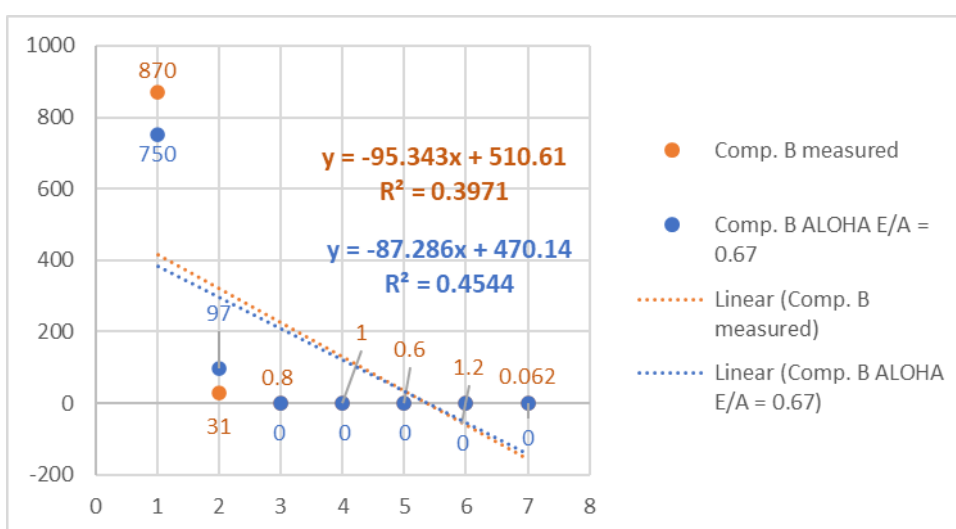
Слика 15.9. Коефицијенти емисије TNT-а – мерени и израчунати (ALOHA E/A = 0,43)



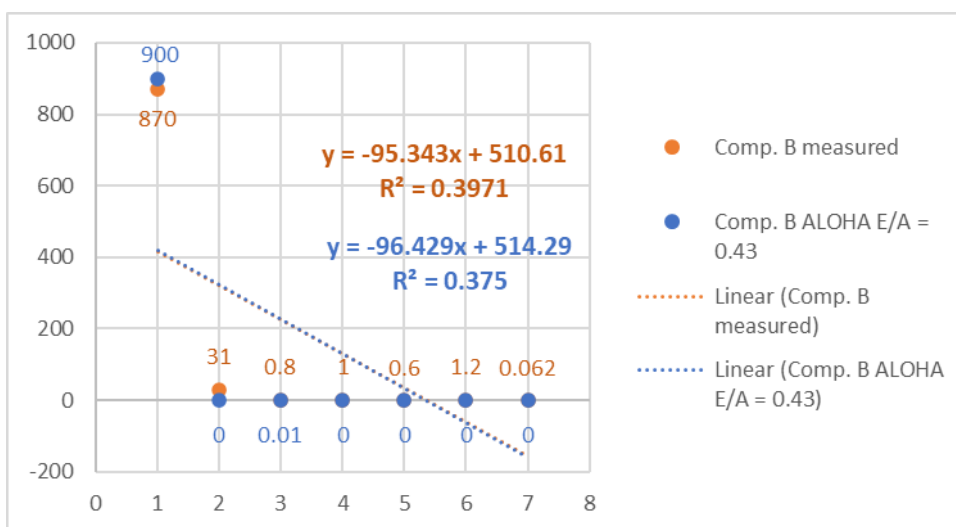
Слика 15.10. Емисиони коефицијенти TNT-а – мерени и израчунати (ALOHA E/A = 0,25)



Слика 15.11. Емисиони коефицијенти Композиције „Б” – мерено и израчунато („ADORA”)



Слика 15.12. Емисиони коефицијенти Композиције „Б” – измерени и израчунати („ALOHA” E/A = 0.67)



Слика 15.13. Емисиони коефицијенти Композиције „Б” – измерени и израчунати („ALOHA” E/A = 0.43)

На сликама од 15.8. до 15.13. приказано је одступање израчунатих вредности од експериментално измерених вредности коефицијената емисије. Они такође откривају значајан ниво одступања у погледу вредности појединачних коефицијената. Да би се изашло на крај са уоченим одступањима, могуће је спровести даље појашњење помоћу скале вредности заједно са збирним прегледом вишекритеријумске регресионе анализе.

Поузданост предвиђања емисионих фактора за различите загађиваче, примењена у овој студији, упоређивањем различитих метода уз експерименталне, сасвим је одговарајућа. Овај приступ је потврђен у неколико недавно спроведених студија које се баве одређивањем емисионих фактора (ЕФ) из различитих извора, (Aurell et al., 2015), одредио је ЕФ из три извора: отворене детонације (ОД), отвореног сагоревања (ОБ) и статичког испаливања (СИ) застареле војне муниције. Узорци су сакупљени коришћењем инструмента за узорковање са аеростатом који је манерисан у перјанице помоћу даљински контролисаних привезних витла. Важно је напоменути да је ова студија била први покушај утврђивања фактора емисије, између осталих загађивача, честица (ПМ_{2,5}) за ОБ и за површински ОД. Штавише, фактори емисије ПМ су били већи за детонације покривене земљом него на површини. Наиме, однос ПМ₁₀/ПМ_{2,5} за покривене детонације био је приближно 30/1, док је овај однос за отворену детонацију Композиције В био око 1/1. Ова значајна разлика се приписује великим количинама земље која је избачена током детонације и увучена у облак. Истраживачи, (Yuen et al., 2014), увели су хибридно оптичку даљинску детекцију (хибрид-ОРС) у свом одређивању ЕФ честица са аеродинамичким пречницима <10 mm (ПМ₁₀).

Овај метод се заснива на мерењу вредности повратног расејања ПМ-а у опсегу са детекцијом и позиционирањем светлости са микро импулсима (ЛИДАР; МПЛИ). Метода хибридног ОРС за одређивање ЕФ, у поређењу са претходним резултатима објављеним у литератури, била је 13% већа за ОБ и 174% за ОД. У поређењу са истовременим мерењима у ваздуху, вредности ЕФ из хибридне-ОРС методе биле су веће за 37% за ОБ и 54% за ОД. Што се тиче ТНТ-а, нису примењене статистички значајне промене ЕФ током детонације 22,7 и 45,4 кг овог експлозива. Ово потврђује чињеницу да укупна количина детониране масе у овом опсегу нема утицаја на ЕФ за ОД ТНТ-а. Истраживање спроведено 2018. године показује предвиђање и мерење емисија од експлозија и догађаја сагоревања изазваних металом (Мг и Б) који садрже ТНТ формулације, (Aurell et al., 2011). Ови адитиви су изабрани зато што Мг/Б може да превазиђе термодинамичка ограничења у остваривању енталпије пуног сагоревања за Б на временским скалама детонације. Композиција TNT:Mg:B (80:4:16 по тежини, приближно стехиометрија (MgB₂) омогућава проучавање емисије загађивача експлозијама које ослобађају честице угљеника, проучавање металних адитива за које се зна да се сагоревају када су формулисани у експлозивима (Mg) и проучавање адитива за метал (B) за које тек треба да се остваре пуне експлозивне перформансе. Симулације су могле предвидети чврсте и гасовите хемијске врсте произведене експлозивним догађајима. Експериментални рад је изведен на начин да омогући мерење гасова и честица емитованих током тестирање TNT-а.

Најбољи коефицијент R има емисиони продукт CO₂, R² = 0.9227, а најмањи емисиони продукт CO, R² = 0.668, на основу чега се закључује да је најмање расипање резултата од експерименталне вредности код емисионог продукта CO₂, а највећи код емисионог продукта CO.

На основу дијаграма можемо утврдити да се вредности R квадрата крећу у следећим дијапазовима и можемо на основу R квадрата дефинисати најмање и највеће расипање, а самим тим и најпоузданије добијене резултате испитивања. Градијент расипања од највећег до најмањег емисионог продукта је следећи:

1. Емисиони продукт, CO₂, R² = 0.9227 и једначином праве Y = - 88.81 + 1439.6,
2. Емисиони продукт, CH₄, R² = 0.9046,
3. Емисиони продукт, NO, R² = 0.8822,
4. Емисиони продукт, C₆H₆, R² = 0.872,
5. Емисиони продукт, TMNH, R² = 0.8614,
6. Емисиони продукт, NO₂, R² = 0.847,
7. Емисиони продукт, CO, R² = 0.668 и једначином праве Y = - 35.071 + 220.71.

На приказаним дијаграмима са слика 15.8. до 15.13., приказано је одступање прорачунских вредности од експериментално измерене вредности коефицијената емисије. Такође приказује нам и слику драстичног одступања појединих вредности коефицијената. Максималне вредности расипања у односу на приказану вредност осенчене су у скали вредности. Одговор на одступања додатно нам појашњава и скала вредности заједно са сумарним прегледом вишекритеријумске регресионе анализе у програмском језику „Excel 2010.”, а може се користити било који програм као на пример „Decision lab 2000”, „Statistics SPSS”, итд..

Калкулације прихваћеног модела као оптималног мора се вршити уз помоћ јасно дефинисане скале вредности и фитовање драстичних одступања резултата на основу вредности резултата добијених путем вишекритеријумске анализе параметара.

Анализом добијених резултата може се утврдити да:

- прорачун вредности нивоа концентрације продуката и моделовање кључних фактора емисије продуката експлозивне материја, применом метода „ALONA” и „ADORA”, ***одступају од измерених вредности*** у лабораторијским или полигонским условима и
- ***има одступања у степену прецизности и тачности прорачуна и моделовања*** применом методе „ALONA” или „ADORA”. Добијени резултати указују да је одступање применом методе „ALONA” занемарљиво.

Табела 15.5. Приказ вишекритеријумске анализе модела „ADORA” за емисију продуката приликом детонације TNT^a

Регресиона анализа								
MultipleR	0.999969353							
RSquare	0.999938706							
AdjustedRSquare	-1.333333333							
Standard Error	3.805834763							
Observations	1							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	1417779.652	177222.4566	97883.36296				
Residual	6	86.90626944	14.48437824					
Total	14	1417866.559						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.00317383	0.00317383	0.999999999	0.355917684	-0.004592253	0.010939914	-0.004592253	0.010939914
X Variable C ₆ H ₆							2.27398E-09	-5.41719E-09
X Variable CO							0	0
X Variable CO ₂							2.02141874	-4.815533315
X Variable CH ₄							-2.7965E-255	6.6619E-255
X Variable Cs							-1.1387E+304	1.1387E+304
X Variable NO							4.8656E+269	4.8656E+269
X Variable NO ₂	-1.397057288	1.449151484	-0.964051932	0.37225004	-4.94300322	2.148888645	-4.94300322	2.148888645
X Variable TNMH	1.016674185	0.003249581	312.8631697	7.19627E-14	1.008722747	1.024625623	1.008722747	1.024625623

^a Вишекритеријумска анализа се може извршити у било ком софтверском пакету Excel, Decision lab 2000, Decision Statistics SPSS и други.

Табела 15.6. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” E/A = 0.67 за емисију продуката приликом детонације TNT^a

<i>Регресиона анализа</i>								
Multiple R	0.964354661							
R Square	0.929979912							
Adjusted R Square	1.333333333							
Standard Error	128.6332908							
Observations	1							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	1318587.418	164823.4272	79.68969537				
Residual	6	99279.14105	16546.52351					
Total	14	1417866.559						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.148437649	0.148437649	0.999999997	0.355917685	-0.214776194	0.511651492	-0.214776194	0.511651492
X Variable C ₆ H ₆							1.11721E-84	-2.66148E-84
X Variable CO							0	0
X Variable CO ₂							47.29348832	-112.665112
X Variable CH ₄							-2.8275E-255	6.7358E-255
X Variable Cs							3.3377E+268	3.3377E+268
X Variable NO							1.1053E+125	1.1053E+125
X Variable NO ₂	32.68581181	50.67912193	0.644956159	0.542814056	-156.6931556	91.32153201	-156.6931556	91.32153201
X Variable TNMH	1.330611399	0.149056238	8.9269085	0.000110221	0.965883924	1.695338873	0.965883924	1.695338873

^a Вишекритеријумска анализа се може извршити у било ком софтверском пакету Excel, Decision lab 2000, Decision Statistics SPSS и други.

Табела 15.7. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” E/A = 0.25 за емисију продуката приликом детонације TNT^a

<i>Регресиона анализа</i>								
MultipleR	0.999304375							
RSquare	0.998609233							
AdjustedRSquare	-1.333333333							
Standard Error	18.12880466							
Observations	1							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	1415894.637	176986.8297	4308.167678				
Residual	6	1971.92135	328.6535584					
Total	14	1417866.559						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.014160166	0.014160166	0.999999999	0.355917684	-0.020488511	0.048808842	-0.020488511	0.048808842
X Variable C ₆ H ₆							-7.6463E-308	1.8215E-307
X Variable CO							0	0
X Variable CO ₂							-11.46617365	27.31534053
X Variable CH ₄							-2.829E-255	6.7392E-255
X Variable Cs							-1.4754E+196	-1.4754E+196
X Variable NO							-3.0972E+125	3.0972E+125
X Variable NO ₂	7.924583437	6.852065692	1.156524732	0.291429673	-8.841817278	24.69098415	-8.841817278	24.69098415
X Variable TNMH	0.935349465	0.014250418	65.63663365	8.41084E-10	0.900479948	0.970218981	0.900479948	0.970218981

^a Вишекритеријумска анализа се може извршити у било ком софтверском пакету Excel, Decision lab 2000, Decision Statistics SPSS и други.

Табела 15.8. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ADORA” за емисију продуката приликом детонације TNT/RDX (TNT/RDX 60/40%)^a

<i>Регресиона анализа</i>								
Multiple R	0.999915873							
R Square	0.999831753							
Adjusted R Square	-1.333333333							
Standard Error	4.287505459							
Observations	1							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	655452.4808	81931.56011	35655.93584				
Residual	6	110.2962184	18.38270306					
Total	14	655562.7771						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	655452.4808	2.1138E-307	65535	#NUM!	655452.4808	655452.4808	655452.4808	655452.4808
X Variable C ₆ H ₆							-2.8433E-308	2.8433E-308
X Variable CO							0	0
X Variable CO ₂	0.999831753	6	0.166638626	0.873128325	-13.68163933	15.68130283	-13.68163933	15.68130283
X Variable CH ₄							2.7028E+243	-2.7028E+243
X Variable Cs							-4.5946E+294	-4.5946E+294
X Variable NO							-6.95057E+59	-6.95057E+59
X Variable NO ₂	-1.953365187	1.63370036	-1.195669191	0.2769324	-5.950885952	2.044155577	-5.950885952	2.044155577
X Variable TNMH	0.889271144	0.004709429	188.8277941	1.48839E-12	0.877747586	0.900794702	0.877747586	0.900794702

^a Вишекритеријумска анализа се може извршити у било ком софтверском пакету Excel, Decision lab 2000, Decision Statistics SPSS и други.

Табела 15.9. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” E/A = 0.67 за емисију продуката приликом детонације TNT/RDX (TNT/RDX 60/40%)^a

<i>Регресиона анализа</i>								
Multiple R	0.995496784							
R Square	0.991013848							
Adjusted R Square	-1.333333333							
Standard Error	31.33418507							
Observations	1							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	649671.7901	81208.97377	661.6940065				
Residual	6	5890.986925	981.8311542					
Total	14	655562.7771						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.044921912	0.044921912	0.999999998	0.355917685	-0.064998047	0.154841872	-0.064998047	0.154841872
X Variable C ₆ H ₆							-1.1981E-168	2.8542E-168
X Variable CO							0	0
X Variable CO ₂							14.18837431	-33.80031452
X Variable CH ₄							-2.8283E-255	6.7375E-255
X Variable Cs							-9.9826E-120	9.9826E-120
X Variable NO							-3.7796E+128	-3.7796E+128
X Variable NO ₂	-9.805970104	12.06447615	-0.812797007	0.447377173	-39.32667972	19.71473951	-39.32667972	19.71473951
X Variable TNMH	1.160696294	0.045122172	25.72341359	2.27531E-07	1.050286316	1.271106271	1.050286316	1.271106271

^a Вишекритеријумска анализа се може извршити у било ком софтверском пакету Excel, Decision lab 2000, Decision Statistics SPSS и други.

Табела 15.10. Приказ вишекритеријумске регресионе анализе модела „ALOHA” E/A = 0.67 за емисију продуката приликом детонације TNT/RDX (TNT/RDX 60/40%)^a

<i>Регресиона анализа</i>								
Multiple R	0.999395079							
R Square	0.998790524							
Adjusted R Square	-1.333333333							
Standard Error	11.4955601							
Observations	1							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	654769.8897	81846.23621	4954.826217				
Residual	6	792.8874124	132.1479021					
Total	14	655562.7771						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept							654769.8897	654769.8897
X Variable 1							-5.6109E-308	5.6109E-308
X Variable 2							0	0
X Variable 3	0.998790524	6	0.166465087	0.873259036	-13.68268055	15.6802616	-13.68268055	15.6802616
X Variable 4							4.9116E-294	-4.9116E-294
X Variable 5							-7.279E+17	-7.279E+17
X Variable 6							-2.50634E+44	-2.50634E+44
X Variable 7	4.950347794	4.344920213	1.139341473	0.297994785	-5.681288946	15.58198453	-5.681288946	15.58198453
X Variable 8	0.961166229	0.013654767	70.39052647	5.53145E-10	0.927754218	0.99457824	0.927754218	0.99457824

^a Вишекритеријумска анализа се може извршити у било ком софтверском пакету Excel, Decision lab 2000, Decision Statistics SPSS и други.

16. РАЗВОЈ СТРАТЕГИЈСКОГ ПЛАНА ЗА СМАЊЕЊЕ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА ПРИЛИКОМ УНИШТАВАЊА И УПОТРЕБЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА НА ТЕРИТОРИЈИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

16.1. Фаза 1: Припреме и прикупљање података

Прикупљање захтева за потреба тржишта које снабдева Република Србија и на основу тога прикупити податке са расположивим ресурсима наменске индустрије и пројектовати даљу стратегију, у складу са Одлука која се доносе ради смањења емисије загађења животне средине. Са друге стране са тим би се превазишао и проблем сложене технологије еколошког уништавања и смањили трошкови за растерећење са вишковима убојних средстава, неексплодираним убојним средствима и експлозивним направама, као и залихама експлозивних материја и убојних средстава.

16.2. Фаза 2: Одређивање граничне количине експлозивне материје на основу прорачуна

Емисионих параметара применом нумеричке анализе и Законских максимално дозвољених емисионих концентрација на територији Републике Србије

16.3. Фаза 3: Израда Идејног Плана и пројекта синтезе еколошких експлозивних материја

Израда идејног Плана и Пројекта за израду и синтезу еколошки прихватљивих експлозивних материје или увоз сировина са дефинисаним квалитетом, односно готовим производом.

16.4. Фаза 3: Дискусија резултата

Хипотеза 1 (X1) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије су веће на отвореном него у затвореном простору.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 1 (X1) прихвата и усваја.*

Хипотеза 2 (X2) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије пропорционално опадају у односу на удаљеност од центра експлозије.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 2 (X2) прихвата и усваја.*

Хипотеза 3 (X3) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије су пропорционални иницираној нето количини експлозивне материје.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 3 (X3) прихвата и усваја.*

Хипотеза 4 (X4) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије су највеће у првих 60 минута од тренутка иницијације експлозивне материје.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 4 (X4) прихвата и усваја.*

Хипотеза 5 (X5) *Вредности нивоа концентрације продуката емисије, зависе од хемијског састава, масеног односа једињења, врсте, типа експлозивне материје.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 5 (X5) прихвата и усваја.*

Хипотеза 6 (X6) *Прорачун вредности нивоа концентрације продуката и моделовање кључних фактора емисије продуката експлозивне материја, применом метода „ALOHA” и „ADORA”, не одступају од измерених вредности у лабораторијским или полигонским условима.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 6 (X6) се не прихвата и не усваја.*

Прорачунате вредности моделовањем кључних фактора емисије одступају од измерених вредности у лабораторијским и полигонским условима.

Хипотеза 7 (X7) *Нема одступања у степену прецизности и тачности прорачуна и моделовања применом методе „ALOHA” или „ADORA”.*

На основу добијених резултата може се закључити да се *Хипотеза 7 (X7) се не прихвата и не усваја.*

Степен прецизности и тачности прорачуна моделовања применом методе „ALOHA” или „ADORA” одступају, јер се на основу резултата прорачуна може, утврдити да је одступање веће применом

методе „ALONA”.

Хипотеза 8 (X8) *Одступање прорачунате вредности нивоа продукта емисије је идентично за све анализиране продукте и не прелази 20% у односу на измерене вредности параметара емисије у лабораторијским и полигонским испитивањима.*

На основу добијених резултата може се закључити да се **Хипотеза 8 (X8) прихвата и усваја.**

Хипотеза 9 (X9) *Зоне дисперзије продукта зависе од хемијског састава, врсте, типа, испоштованости максимално дозвољених нето количина по операцијама, испоштованости група опасности и компатибилности, растојања у технолошком процесу, међумагазинског растојања, заштитних насипа, типа објекта и микроклиматских услова у технолошким процесима рада, приручним магацинима или складиштима сировина, односно готових производа.*

На основу добијених резултата може се закључити да се **Хипотеза 9 (X9) прихвата и усваја.**

Хипотеза 10 (X10) *Ниво оспособљености стручних лица запослених у Компанији „Слобода” а.д. Чачак из познавања експлозивних материја са аспекта емисије продукта у животну средину је у корелацији познавања превентивних мера и евентуалног корективног поступања у циљу смањења или неутралисања емисије продукта у животну средину у технолошким процесима рада или samozапалења услед деградације елемената.*

На основу добијених резултата може се закључити да се **Хипотеза 10 (X10) прихвата и усваја.**

На основу добијених резултата нумеричком анализом нивоа концентрације и упоредном анализом софтверских апликација „ADORA” и „ALONA”, утврђено је да су нивои концентрације емисије мали у односу на концентрације полутаната насталих сагоревањем фосилних горива у топланам и јавном саобраћају, али нису занемарљиви, нарочито у концентрацијама које настану услед акцидентата. Акциденти подразумевају озбиљне нето количине експлозива које сагоре или детонирају са последицама које су дугорочне.

Упоредном анализом софтверских пакета „ADORA” и „ALONA”, путем регресионе анализе, утврђено је да коефицијенти драстично одступају од предвиђених вредности су обележени црвеном бојом у скали вредности коефицијената и прихватљивих метода за конкретан случај. Порежењем теоретски добијеним резултатаима путем једначине за одређивање продукта и експерименталних резултата, може се закључити да је ниво грешке далеко мањи и прихватљивији код софтверске методе „ALONA”.

17. ЗАКЉУЧАК

Загађење животне средине је глобални проблем, без обзира на локацију, привредну грану, делатност и технологију производње, прераде, делаборације или уништавања. Узимајући у обзир размере загађења животне средине од времена технолошког развоја, настала је потреба и обавеза свих држава да предузму мере, у складу са новоима развоја привреда и могућностима, ради смањења нивоа емисија на дозвољени ниво или неутралисања продуката који негативно утичу на животну средину. На основу проучавања глобалног проблема са емисијом штетних продуката и хемијског састава експлозивних материја и убојних средстава, проистекла је потреба за израдом ове докторске дисертације. У овој дисертацији је дата дефиниција намена и хемијски састав експлозивних материја која се могу наћи у убојним средствима која се производе у фабрикама наменске индустрије Републике Србије и складиштима Војске Србије.

Након тога је извршена упоредна анализа софтверских пакета „ALONA” и „ADORA” за нумеричко моделовање и предвиђање емисије продуката након сагоревања или детонације експлозивних материја или убојних средстава са резултатима који су измерени у реалном времену на полигонима за уништавање.

Након упоредне анализе извршено је моделовање и предвиђање емисије продуката услед сагоревања или детонације експлозивних материја путем софтверског пакета „ALONA”. Моделовање је извршено на студијама случаја које су дефинисане у хипотезама, на основу анализе података хазардних ситуација, технолошких поступака производње и уништавања и хемијских састава експлозивних материја и убојних средстава. Студије случаја су хронолошки рађене за технологију производње и технологију уништавања експлозивних материја и убојних средстава као кључним сегментима животног циклуса убојних средстава, са аспекта негативног утицаја на животну средину. Резултат моделовања су руже простирања зона опасности са дометом простирања облака праћеног штетним продуктима у односу на епицентар експлозије.

Поред системске и детаљне анализе методологија за моделовање извршена је анкета запослених лица на основу хипотетичких претпоставки које су доказиване понаособ, у предузећу наменске индустрије за производњу експлозивних материја и убојних средстава Компанија „Слобода” а.д. Чачак. Анкета је извршена са запосленим лицима на основу њихових образовних и стручних квалификација, тако што су формирана два типа кодних тестова, један тип за лица са средњом стручном спремом и други тип за лица са високом стручном спремом. Кодни тестови су конципирани посебно за извршиоце, посебно за руководиоце и садржали су два типа питања, први тип питања који су се односили на њихову стручну оспособљеност за посао који раде, познавање експлозивних материја и убојних средстава и технолошких поступака производње, док се други тип питања односио на обученост у спровиђењу превентивних и корективних мера у случају акцидента, односно уништавања експлозивних материја или убојних средстава на полигону.

Методепримењене у софтверским пакетима „ALONA” и „ADORA” програмских метода су прихватљиве за прорачун продуката детонације уз обавезну примену вишекритеријумске анализе ради фитовања и одбацивања неприхватљивих резултата услед лоше предикције или предвиђања околине у детонационом облаку. На основу вредности може се лако закључити да се ради о јаким коефицијентима „R” и „F” у регресионој анализи. Коефицијенти говоре да се ради о добром предвиђању односа и прихватљивим вредностима коефицијената емисије продуката при детонацији на отвореном. Приликом анализе прорачуна за продукте емисије TNT и TNT/RDX (60/40%) коефицијенти који су драстично одступали од предвиђених вредности су обележени црвеном бојом у скали вредности коефицијената и прихватљивих метода за конкретан случај.

На основу корелације добијених резултата, утврђено је да софтверски пакет „ALONA” даје тачније и прецизније резултате. Анализу је потребно наставити са репрезентативнијом популацијом разнородних типова експлозива. Потребно је проширити и дијапазон састава и масених односа, као и разматрање детонације средстава у облаци на отвореном простору на површини земљи или у фугасама, утицај метала на експлозиве у формирање полутаната у функције количине експлозива у фугаси и дефинисати начин превазилажења или свођења на најмањи могући ниво проблема загађења животне средине.

Сагледавајући утицаје кроз животни циклус експлозивних материја и убојних средстава може се закључити да постоје две соновне категорије потенцијалног загађења. *Прву категорију* загађења представљају фабрике наменске индустрије које су произвођачи сировина, експлозива, пиротехничких смеша барута и ракетних горива. Производња је заснована на базну хемију и синтезу чиме је отпад који доспева у животну средину искључиво хемијске материје. Производњу у овој категорији карактеришу материјали велике токсичности. Ризици ове категорије су и прашкови експлозивних материја и аморфна стања која се у току производње разносе вентилацијом, односно проветравањима погона природног или принудног типа.

Друга категорија су фабрике наменске индустрије које производе убојна средства. Кључни ризици са аспекта заштите животне средине представљају технологије ливења и пресовања експлозивних материја и аморфних експлозива који доспевају у ваздух путем вентилација за проветравање које су инсталиране у погонима. Наведно долази до изражаја, јер су системи дотрајали и ефективност им је смањена. Наведени проблем долази до изражаја у случајевима диспергованих прахова TNT-а, алуминијума, магнезијума, и других метала који се додају приликом производње пиротехничких смеша.

Сагледавајући технологије од производње, преко прераде и делаборације до уништавања убојних средстава и експлозивних материја, проистичу следеће препоруке за наредни период:

– ***Препоруке доносиоцима Одлуке у Војсци Србије и предузећима наменске индустрије:***

- ✓ *израда студије развоја реновирања постојећих и иновације модерних технологија, ради смањења емисије продуката или потпуне неутрализације,*
- ✓ *предузимање мера за организацију студијског праћења и обезбешања техничко-технолошких мера за пречишћавање гасног и парног отпада који доспева у атмосферу кроз фабричке димњаке и вентилационе системе,*
- ✓ *обезбеђење поштовања технолошких мера по зонама загађења, на местима где се врши уништавање експлозивних материја или убојних средстава,*
- ✓ *обезбеђење транспарентног система праћења и мониторинга као мере за санкционисање прекршиоца од стране локалне самоуправе у сарадњи са надлежним органима Министарства за заштиту животне средине и*
- ✓ *обезбеђење услова и предузимање мера за успостављање непрекидне комуникације између одговорних лица Министарства одбране, наменске индустрије, Војске Србије и републичких органа за заштиту животне средине.*

– ***Препорукеорганима локалне самоуправе:***

- ✓ *општине на којима се налазе фабрике наменске индустрије, обезбеде поштовање урбанистичких планова, у складу са капацитетима производње фабрика наменске индустрије са аспекта могућих скцидената и негативног утицаја по околну животну средину и*
- ✓ *да се обезбеде услови да не дође до имплементирања сировина или експлозивних материја у ланац исхране становништва.*

– ***Препорукеорганима државне управе у Министарства одбране:***

- ✓ *да се стратешки развоја фабрика наменске индустрије усагласи са технолошким развојем са трендом захтева стандарда за заштиту животне средине и глобалног загревања и*
- ✓ *да Министарство одбране у сарадњи са Министарством за заштиту животне средине обезбеди приступ међународним пројектима и фондовима за развој технологија у животном циклусу убојних средстава.*

Предлог за даљи унапређење је имплементација система прађења параметара емисије током производње, прераде, делаборације и уништавања убојних средстава и експлозивних материја на лице места. Прађења параметара ће олакшати сагледавање достигнутих нивоа у циљу смањења или неутрализације емисије продуката и ефикасност примењених технологија. У циљу постепеног успостављања прихватљивог решења и фазног побољшавања технологије, предлажу се предузети следећи кораци:

- ✓ *прекид или смањење капацитета производње високо ризичних експлозивних материја или убојних средстава, са аспекта утицаја на животну средину,*
- ✓ *уништавање убојних средстава и експлозивних материја уништавати ван граница земље, а у циљу смањења трошкова повећати проценат ремонта и делаборације за потребе трећих лица ван граница наше земље.*

Као закључак ове докторске дисертације проистиче да је потребно направити искорак у свим сегментима друштва како би смо сачували животну средину као природни ресурс, али се морају дефинисати приоритети и направити динамички план отклањања, на основу новог загађења почев од највећих извора загађења ка најмањим. Наиме, динамички план се мора дефинисати са паралелним активностима и мерама ради што бржег достизања прописаног нивоа, узимајући у обзир повећање капацитета постојећих или формирања нових извора. Такође мере треба дефинисати према степену потребних инвестиција, односно финансијских улагања, па се на основу тога требају дефинисати као приоритетне активности, активности које је могуће спровести без улагања средстава, већ доношењем нижих правних и интерних аката, чија је примена могућа у веома кратком периоду.

18. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abdul-Karim, N., Blackman, C.S., Gill P. P., Karu, K., 2016. The spatial distribution patterns of condensed phase post-blast explosive residues formed during detonation, *J. Hazard. Materials* 316, pp. 204–213. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.04.081.
- [2] Aloha 2013 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), 5.4.4, Technical Dokumentation.
- [3] Ahrens C.D., 2003. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment*, 7th ed. Brooks/Cole/Thomson Learning Inc., Pacific Grove, California.
- [4] Akhavn, J., 2006. *The Chemistry of Explosives*, 2nd Edition, The Royal Society of Chemistry, Cambridge CB40WF, UK.
- [5] Anđelković-Lukić, M., 2009. Sinteza i fizičko-hemijske karakteristike eksploziva HNIW (CL-20), *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol. 57, No. 2, pp. 86–94, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd.
- [6] Appel, K. et al. 2000. Sandia National Laboratories (SNL).
- [7] Artiola, J.F., Brusseau, M.L., and Pepper I.L., 2004. *Environmental Monitoring and Characterization*. Academic Press, San Diego.
- [8] Aurell, J., Gullett, B. K., Pressley C., Tabor, D.G., Gribble, R. D., 2011. Aerostat-lofted instrument and sampling method for determination of emissions from open area sources, *Chemosphere*, 85, pp. 806–811. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.06.075.
- [9] Aurell, J., Gullett, B. K., Tabor, D., Williams, R. K., Mitchell, W., Kemme, M. R., 2014. Aerostat-based sampling of emissions from open burning and open detonation of military ordnance, *Journal of Hazardous Materials*, October.
- [10] Aurell, J., Gullett, B. K., Tabor, D., Williams, R. K., Mitchell W., Kemme M. R., 2015. Aerostat-based sampling of emissions from open burning and open detonation of military ordnance, *Journal Hazard Materials*, 284, 108–120. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.10.029.
- [11] Bajcetic, R., Srdjevic, B., 2007. Visekriterijumska analiza varijanti rekonstrukcije regionalnog vodozahvatnog sistema metodom Promethee, *Vodoprivreda* 0350-0519, pp. 149-162.
- [12] Barry, R., Chorley, R., 2003. *Atmosphere, Weather and Climate*, New York, Routledge.
- [13] Baum, H.R., McGratten, K.B., and Rehm, R.G., 1996. Numerical simulation of smoke plumes from large oil fires, *Atmospheric Environment*, 30 (24): pp. 4125-4136.
- [14] Beckstead, M.W., Puduppakkam, K., Thakre, P., Yang, V., 2007. Modeling of Combustion and Ignition of Solid-Propellants Ingredients, *Progress in Energy and Combustion Science* 33, pp. 497-551.
- [15] Bencetić-Klaić, Z., 2003. *Prodor stratosferskog ozona u donje slojeve atmosfere*. Zagreb: Prirodno-matematički fakultet, Geofizički odsjek.
- [16] Benini, L. et al., 2015. Rumunska Kompanija U.M.SADU.
- [17] Blomqvist, P., *Emissions from Fires: Consequences for Human Safety and the Environment*, PhD Thesis, Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, Lund 2005. FIRE SAFETY SCIENCE-PROCEEDINGS OF THE ELEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM pp. 1457-

- [18] Brasseur, G., Solomon, S., 2005. *Aeronomy of the Middle Atmosphere*, New York: Springer.
- [19] Bulajić, S., Lalić, B., 2018. *Vodič kroz metrologiju i fiziku atmosfere za srednjoškolce i brucoše*, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- [20] Cai, W., Thakre, P., Yang, V., (2008.), *A Model of AP/HTPB Composite Propellant Combustion in Rocket-Motor Environments*, *Combust. Sci and Tech.*, 180: pp. 2143-2169.
- [21] Chao, Y., Lui, W., Chen, Y., Chen, W., Zhao, L., Ding, Q., 2016. Structure, variation and co-occurrence of soil microbial communities in abandoned sites of a rare earth elements mine, *Environ Sci Technol.* 50 pp. 11481 – 11490.
- [22] Chen, W., Chao, C., Nee, J., 2011. Rayleigh lidar temperature measurement in the upper troposphere and lower stratosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 66, Issue 1, pp 39-49.
- [23] Conkling, J.A., Mocella Ch.J., 2010. *Chemistry of Pyrotechnics, Basic Principles and Theory*, 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [24] Cooper, P.W., 1996. *Explosives Engineering*, Wiley-VCH.
- [25] Čenas, N., Nemeivaite-Čenienė, A., Marozienė, A., Šarlavskas, J., Vilutiene, V., Baublys, J., 2007. *Explosives Toxic Environmental pollutants: The level of contamination, toxicity, and its mechanisms*.
- [26] Duijm, J. N., Markert F., 2002. Assessment of technologies for disposing explosive waste, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 90, pp. 137–153.
- [27] Dukić, D., 1981. Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd.
- [28] Djebri N., Rouainia, M., 2018. Prediction of industrial pollution by radial basis function networks, *Environ. Prot. Eng.*, 44 (3) 153-164. DOI: 10.31190/epe 180311.
- [29] Djurica, A., 1983. *Pirotehnička i inicijalna sredstva*, Vojnoizdavački Zavod, Beograd.
- [30] Federff, B.T. and Sheffield, O.E., 1960. *Encyclopedia of Explosives and Related Items*, Vol 1-10, Picatinny Arsenal, Dover.
- [31] Ferreira, C., Ribeiro, J., Clift, R., Freire, F., 2015. *A Circular Economy Approach to Military Munitions: Valorization of Energetic material from Ammunition Disposal through Incorporation in Civil Explosives*.
- [32] Fickett, W., 2020. *Introduction to Detonation Theory*, University of California Press, Ca.
- [33] Fingas, M.F., 1995. *The Newfoundland Offshore Burn Experiment- NOBE*, Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference, pp. 123-132, Publication 4620, American Petroleum Institute.
- [34] Fordham, S., 1980. *High Explosives and Propellants*, Second Edition, Formerly Nobel's Explosives Co. Ltd, Pergamon Press, Oxford.
- [35] Gerber, P. E., 2015. *The Stratosphere and its Coupling to the Troposphere and Beyond*. *Encyclopedia of Applied and Computational Mathematics*, Springer, in review.
- [36] Glavatović, B., 2005. *Osnovi Geonauke*.

- [37] GLOBE, 2003. Meteorološka mjerenja, II dio. The Global Learning and Observations to Benefit the Environment.
- [38] Handbook on the Management of Munitions Response Actions, United States Environmental Protection Agency, Washington, 2005.
- [39] Hooda., P.S., 2010. Introduction, Trace Elements in Soil, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1-8.
- [40] Huijbregts, M. M. C. et al., 2010. EST44 SI.
- [41] Hyronimus, F., 1971. AMC Pamphlet: Engineering design handbook – Explosives series properties of explosives of military interest, Headquarters, United States army materiel command, Washington. D. C.
- [42] Ineichen, H., Berger, B., 2004. Pyrotechnics in Fireworks, Schweizerische Chemische Gesellschaft, *Chimia* 58, 369-373.
- [43] Jacobson, M., 2005. Fundamentals of Atmospheric Modelling, Cambridge University Press.
- [44] Johnson, M., 1992. Development of Methodology and Technology for Identifying and Quantifying Emission Products from Open Burning and Open Detonation Thermal Treatment Methods, Volume 2, Part A, Report No. ADA250736, Headquarters U.S. Army Armament, Munitions and Chemical Command.
- [45] Johnson, M., 1992. U.S. development of methodology and technology for identifying and quantifying emission products from open burning and open detonation thermal treatment methods. Field Test Series A, B, and C, Vol. 1, Test Summary. Final Report AD-A250735, Rock Island, IL, Maintenance Management Division, Demilitarization and Technology Branch.
- [46] Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B., 2007. Trace Elements from Soil to Human, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [47] Karim, N., Blackman, Ch. S., Gill, Ph. P., Karu, K., 2016. The spatial distribution patterns of condensed phase post-blast explosive residues formed during detonation, *Journal of Hazardous Materials*, 316, pp. 204-213.
- [48] Kim, E.Y., Kim, Y.K., 2004. Predicting Online Purchase Intentions for Clothing Products. *European Journal of Marketing*, 38, 883-897.
- [49] Kinney, F. G., Graham, K. J., 1985. Explosives Shocks in Air.
- [50] Klaine, S.J., Alvarez, P.J.J., Batley, G.E., Fernandes, T.F., Handy, R.D., Lyon, D.Y., et al., 2008. Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects, *Environ. Toxicol. Chem.* 271825-1851.
- [51] Kovačević, V., Mladenović-Kljajić, B., 2004. Geografija, Udžbenik za prvi razred Gimnazije.
- [52] Kubota, N., 2007. Propellants and Explosives, Second Completely Revised and Extended Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim,
- [53] Lalić, B., Ejscinger, J., Dalamatra, A., Orlandini, S., Firanj-Sremac, A., Paher, B., 2021. Meteorologija и климатологија за агрономе, PoljoprivrednifakultetNoviSad, UniverzitetNoviSad, pp 75.
- [54] Laursen, K.K., 1992. Emission factors for particles, elemental carbon, and trace gases from the Kuwaiti oil fires, *Journal of Geophysical research*, Vol. 97, No. D13, pp. 14, 497.
- [55] Mackay, T. et al., 2006. Physical-Chemical properties and Environmental Fate for Organic Chemicals.

- [56] Mader, C. L., 1998. Numerical modeling of Explosives and Propellants, CRC Press, New York.
- [57] Mader L.Ch., 2008. Numerical modeling explosives and propellants.
- [58] Maier R.M., Pepper I.L., and Gerba C.P. 2000. A Textbook of Environmental Microbiology. Academic Press, San Diego, California.
- [59] Maksimovic, P.V., 1985. Eksplozivnematarije, Vojnoizdavacki zavod Beograd.
- [60] Marinković J., 1959. Baruti i eksplozivi, Vojno delo, Beograd.
- [61] McGratten, K.B., Putori, A.D., Twilley, W.H., and Evans, D.D., 1993. Smoke Plume Trajectory of In Situ Burning of Crude Oil in Alaska, Technical Report NISTIP 5273, NIST, Gaithersburg, Maryland.
- [62] McNesby, R. et al., 2010. No. 3:2008cv00449-Document 151, N.D.Fla.
- [63] MeyerR., KöherJ., HomburgA., 2007. Explosives, Sixth, Completely Revised Edition”, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, ISBN 978-3-527-31656-4.
- [64] Mendis, P., Ngo, T., 2003. Vulnerability assessment of concrete tall buildings subjected to extreme loading conditions.
- [65] Mihailović D., 2017. Meteorologija za studente poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu.
- [66] Mijanović, M., Primjena Xi – kvadrat testa u socioloskim istrazivanjima, (Nikšić: Filozofski fakultet Nikšić, Luča X/1, 1993., pp. 185-189.
- [67] Mitchell W. J., Suggs J. C., 1998., Emission factors for the disposal of energetic materials by open burning and open detonation (OB/OD), U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-98/103 (NTIS PB99-102105).
- [68] Mitchell, J.W. et al., 1997. Improving the Environmental safety of munitions disposal by OB and OD, Proceedings of the Fifth Global Demilitarization Symposium and Exhibition, Reno, NV, May.
- [69] Mitchell, W.J., Suggs, J. C., 1998. Emission factors for the disposal of energetic materials by open burning and open detonation (OB/OD), EPA Raport-EPA/600/R-98/103.
- [70] Mohan, R., Walton, H. A., Thomson, D., Webster, H., Wilkinson, P., Grundy, C., Murray, V., Leonardi, G., 2012. The Buncefield Oil Depot Fire of 2005: Potential Air-Pollution Health Impacts Under Alternative Meteorological Scenarios, PLoS currents 4.
- [71] Moussa, N.A., Deverakonda, V.V., 2014. Prediction of toxic emissions from chemical fire and explosion, Fire safety science-proceedings of the eleventh -international symposium pp. 1457-1468.
- [72] Moussa, N.A., Deverakonda, V.V., 2014. Prediction of toxic emissions from chemical fire and explosion. Fire safety science, Proc. 11th International Symposium, 1457-1468. DOI: 10.3801/IAFSS.
- [73] Moussa, N. A., Masonjones, M.C. and Zhang, X.J., 1998. Accurate Prediction of Emission Factors by ADORA, Presented at the 1998. Global Demilitarization Symposium and Exhibition in Coeur D’Alene, Idaho, May 11-14.
- [74] Moussa N. A., Zhang X.J., Groszmann D.E., Beach A.B., Noland R.B., 1995. Reacting Puff Rise, Safety and Environmental Protection Subcommittee Joint Meeting, Tampa, Florida.
- [75] Muthurajan, H., Ghee. H., 2008. Software development for the detonation product analysis of high

energetic materials – Part I, Central european journal of energetic materials, 5 (3-4), 19-35, ISSN 1733-7178.

[76] National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2019. Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions, The National Academies Press, Eashington DOI: 10.17226/25140.

[77] Orbović, N., 2020. Uvod u eksplozivne materije, KIZ „Centar”, Beograd.

[78] Pacyna, J., 2011. Environmental emissions of selected persistent organic pollutants, in: Quante, M., Ebinghaus, R., Flöser, G., (Eds.), Persistent Pollution –Past, Present and Future: School of Environmental Research –Organized by Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Springer Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg, pp. 49-56.

[79] Pepper I.L., Gerba C.P., and Brusseau M.L., 1996. Pollution Science. Academic Press, San Diego, California.

[80] Petersen, K. E., and Markert, F., 1991. Assessment of fires in chemical warehouses. An overview of the TOXFIRE project, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark Risø-R-932 (EN).

[81] Póstaí, M., Buseck, P. 2010. Nature and Climate Effects of Individual Tropospheric Aerosol Particles, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol.38, pp 17-43.

[82] Rajković, B., Mesinger, F., Mikrometeorologija, 2002. Univerzitet u Beogradu.

[83] Rosenbaum, S. et al. 2008. USEtox – The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment.

[84] Rotariu, I. L. et al., 2015. Rumunska Kompanija U.M.SADU.

[85] SALW ammunition destruction-environmental releases from open burning (OB) and open detonation (OD) events, SEESAC, Belgrade 2004.

[86] Schlatter, W. T., 2009. Atmospheric Composition and Vertical Structure. Boulder, CO: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

[87] Sektor za Kopnenu vojsku, Uprava atomsko biološko hemijske odbrane, I br. 18-8 od 14.04.2004. godine.

[88] Smith, S. et al., 2004. Unit Root Test Results.

[89] Stalveski, M., 2004. Zemlja, URL: <http://static.astronomija.co.rs>.

[90] Stojanović, V., Pavić, D., Pantelić M., 2014. Geografija životnesredine, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet, NoviSad.

[91] Sutton, G., Biblarz, O., 2001. Rocket Propulsion Elements, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Inc..

[92] Teipel, U., 2005. Energetic Materials, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

[93] Thomaidi, V.S., Stasinakis, A.S., Borova, V.L., Thomaidis, N.S., 2016. Assessing the risk associated with the presence of emerging organic contaminants in sludge-amended soil: a country-level analysis, Sci. Total Environ. pp. 280-288, pp. 548-549.

[94] Tsuji, Sh. et al., 2008. High resolution record of Quaternary explosive volcanism recorded in fluvio-lacustrine sediments of the Uwa basin, southwest Japan.

[95] University Cooperation for Atmospheric Research, Office for Interdisciplinary Studies, Boulder Colorado. EPA, 2005.

[96] Uputstvo za skladištenje, 2002. UbS, TU-V, 5105, Beograd.

[97] US EPA, Air Emission Measurement Center (EMC), Method 3A. Determination of oxygen and carbon dioxide concentrations in emissions from stationary sources (instrumental analyzer procedure), 2017.

[98] Via, S. M., Zinnert, J. C., 2016. Impacts of explosive compounds on vegetation: A need for community scale investigations.

[99] Walton, W.D., 1994 „Smoke measurements using a helicopter transported sampling package”, Proceedings of the 17th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, pp. 735-764. Environment Canada, Emergencies Science Division, Ottawa, Ontario, Canada.

[100] Watkins, B. E. et al., 2000., „Phase III Demonstrations Detonations of Conventional Weapons: 155 mm High Explosive M107 Projectiles”, Prepared for the Defense Ammunition Center under the DoD/DoE Joint Demilitarization Technology Program.

[101] Watts, R.J., Hazardous Wastes, sources, pathways, receptors, Wiley, New York 1998. DOI: 10.1002/ep.670200405.

[102] WHO (World Health Organization), 2003. Health Risks of Persistent Organic Pollutants from Long-Range Transboundary Air Pollution. No. E78963.

[103] Wingborg, N., 2004. Improving the Mechanical Properties of Composite Rocket Propellants, KTH, Fibre and Polymer Technology Stockholm.

[104] Yan, Q., Zhu, A., Pang, H., Xiao, 2013. Theoretical studies on the unimolecular decomposition of nitroglycerin, Journal of Molecular Modeling 19(4).

[105] Yuen, W., Johnsen D. L., Koloutsou-Vakakis, S., Rood, M. J., Kim, B. J., Kemme, M. R., 2014. Open burning and open detonation PM10 mass emission factor measurements with optical remote sensing, Journal Air. Waste. Manage., 64 (2), pp. 227–234. DOI: 10.1080/10962247.2013.851045.,

[106] Zeng, T., Yang, R., Tng, J.Li.W., Li, D., 2019. Thermal Decomposition Mechanism of Nitroglycerin by ReaxFF Reactive Molecular Dynamics Simulations.

Извори са интернета:

[107] <http://cameochemicals.noaa.gov>

[108] <http://en.chembase.cn/molecule-128271.html>

[109] [https://sites.google.com/site/energeticchemical/CL-20 – HNIW](https://sites.google.com/site/energeticchemical/CL-20-HNIW)

[110] <https://sites.google.com/site/energeticchemical/HNS>

[111] <https://sites.google.com/site/energeticchemical/nitrocellulose>

[112] <https://sites.google.com/site/energeticchemical/nitroglycerine>

[113] <https://sites.google.com/site/energeticchemical/pentaeritritol-tetranitrate>

[114] <https://sites.google.com/site/energeticchemical/tetrazene>

- [115] <http://sniper-weapon.ru/snajper/225-vzryvchatye-veshchestva>
- [116] www.apriori-nauka.ru
- [117] www.epa.gov.
- [118] www.chemdoodle.com
- [119] www.csb.gov/on-first-anniversary-of-investigation-board-releases-data-on-167-seriousreactive-incidents/
- [120] www.indiamart.com/proddetail/lead-azide-4067076048.html
- [121] www.physics.kg.ac.rs
- [122] www.powerlabs.org/chemlabs/lead_styphnate.htm
- [123] www.powerlabs.org/chemlabs/lead_trirezorcinate.htm
- [124] www.researchgate.net/figure/236049206_fig3_Figure-2-Scheme2Structure-of-tetryl-and-its-degradation-products-N-methylpicram
- [125] www.revolvy.com/topic/NGV1&item_type=topic
- [126] www.revolvy.com/topic/HMX-1&item_type=topic
- [127] www.tesla.pmf.ni.ac.rs
- [128] www.trivenichemicals.com/explosives-chemicals.html)
- [129] www.wonderworksonline.com

19. ПУБЛИКАЦИЈЕ КОЈЕ СУ ПРОИЗАШЛЕ КАО РЕЗУЛТАТ РАДА НА ПРЕДМЕТУ И ПОДРУЧЈУ ИСТРАЖИВАЊА

Рад објављен у међународном часопису са SCI листе, у оквиру категорије M20:

N.Vučičević, M. Vuković, M. Papić, Open burning and open detonation of explosives: Prediction of pollutant emissions, *Environmental protection engineering*, 48(1): 23-34, 2022. DOI: 10.37190/epe220102 ISSN:0324/8828. IF (2020)=0,977 M23 Engineering, Environmental 52/54.

Рад објављен у националним часописима у оквиру категорије значаја, M50:

N.Vučičević, Investigation of detonation transfer by explosion of munition depots, New Trends in Research of Energetic Materials (NTREM), 14th Seminar, 9 Pardubice April 13-15, 2011, pages 997-1003, M52.

N.Vučičević, G. Vučićević, Menadžment inovacijama kroz primenu teorije pouzdanosti u donošenju odluke, 21. *Medjunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanoscu”*, (2018) i 9. Medjunarodna konferencija „Life cycle Engineering and Management”, 28-29 Jun, „Istraživački centar” Чачак, ICDQM (2018.), M51.

P. Stojisavljević, V. Stojisavljević, **N.Vučičević**, D.Stojanović, „Ispitivanje detekcije i identifikacije visokotoksičnih i industrijskih toksičnih materija u laboratorijskim uslovima”, 2. *Simpozijum o posledicama bombardovanja osiromasenim uranijumom*, maj, „Istraživački centar” Чачак, ICDQM (2018), M51.

20. БИОГРАФИЈА

Небојша Д. Вучићевић је рођен 13.05.1981. године у Београду. Након завршетка Гимназије у Младеновцу, завршио је „Војно-техничку академију” у Београду, смер хемијска технологија и стекао звање дипломираног инжењера хемијске технологије. Своју каријеру је започео као технолог у Војном складишту убојних средстава, а потом наставља каријеру у научно истраживачкој институцији „Технички опитни центар” у Београду.

Приликом рада у Техничком опитном центру стекао је искуство у изради тактичко техничких захтева квалитета средстава, испитивању квалитета наоружања и војне опреме, завршним верификационим и хомологационим испитивањима средстава са домаћег и страног тржишта, издавању дозвола правним лицима за производњу наоружања и воне опреме. Своје искуство и примену знања стекао је временом од почетних дужности као приправник-истраживач, преко самосталног истраживача, вишег истраживача, водећег истраживача, начелника одељења и начелника Сектора за класично наоружање.

Наставак своје каријере наставља у Министарству одбране као инспектор за рад са убојним средствима, пиротехничку безбедност и заштиту од пожара и експлозије. Своје компетенције је доказао као предавач на постдипломским студијама страних држављана на Универзитету у Београду, „Машинског факултета у Београду”, смера Војно машинство и у стручним комисијама за издавање и оцену пројеката за издавање патента и заштиту интелектуалне својине и као активни учесник стручне комисије „Института за стандардизацију” Републике Србије.

Поред наведеног држао је наставу припадницима Војне полиције и Безбедносно информативне агенције (БИА) на основним и напредним курсевима за противдиверзиону заштиту и познавање импровизованих експлозивних направа. Учествовао је у више експертиза у акцидентним ситуацијама са смртним исходима као што је „Тузланска капија” и „Експлозија у Техничком ремонтном заводу у Крагујевцу”. Објављивао је радове у домаћем и међународном часопису. Ожењен је отац двоје деце, има кћерку и сина.

21. ПРИЛОЗИ

21.1. Прилог 1

Прилог 6. Анкетни упитник за утврђивање степена стручне оспособљености запослених у фабрикама за производњу експлозивних материја о емисији продуката услед евентуалног акцидента приликом производње, лабораторије, испитивања, складиштења и употребе и емисији продуката приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава на отвореном простору.

Поштовани,

Прочитајте питање и понуђене одговоре и попуните поље за године радног стажа.

Потребно је да будете искрени и да заокружите баш оно што мислите. Овај упитник је анониман и намењен је искључиво научно-истраживачком раду, а подаци ће бити искоришћени за процену, моделирање и упоредну анализу метода за прорачун продуката емисије приликом процеса производње, испитивања, складиштења, употребе и уништавања експлозивних материја. На основу резултата ће произаћи предлози за евентуална унапређења, смањења или неутралисања потенцијалних емисија у животну средину.

Захваљујем Вам на сарадњи и разумевању.

Питања за лица са средњом стручном спремом:

1. (П) Пол: а) мушки, б) женски.
2. (ГРС) Године стажа: _____
3. (ССС) Степен стручне спреме:
а) висококвалификован, б) висока стручна спрема, в) мастер,
г) специјализација, д) магистар и њ) доктор наука
4. (СУБС) Састојци убојних средстава (УБС), пре свега експлозивне и хемијске материје имају штетно дејство на животну средину?
а) да
б) не
5. (НУЕМ) Какав негативни утицај имају експлозивне материје на животну средину?
а) занемарљив
б) мали
в) средњи
г) велики
6. (МДНКЕУП) Да ли се поштује максимално дозвољена нето количина експлозива у погонима за производњу и лабораторију експлозивних материја?
а) да
б) не
в) не увек
7. (МДНКЕУПМИС) Да ли се поштује максимално дозвољена нето количина експлозива у погонским магацинима и складишту унутар комплекса фабрике за производњу експлозивних материја?
а) да
б) не
в) не увек

8. (МДНКЕМУФ) Да ли се поштује максимално дозвољена нето количина експлозивне материје по фугаси приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава?
- а) да
 - б) не
 - в) не увек
9. (МДНКЕУФИМДФ) Која је максимално дозвољена нето количина експлозива за уништавање по фугаси и колико је максимално дозвољено фугаса формирати истовремено са максимално дозвољеном нето количином експлозива?
- а) 60 kg и пет фугаса
 - б) 80 kg и пет фугаса
 - в) 80 kg и четири фугасе
 - г) 100 kg и три фугасе
10. (СКИШС) Да ли поседујете стручну квалификацију и школску спрему за ваше радно место?
- а) да
 - б) не
 - в) делимично
11. (ПЗУ) Да ли сте имали увид у План заштите у случају акцидента или удеса?
- а) да
 - б) не
12. (НКИИЕППУЕМ) Да ли су вас стручна и овлашћена лица упознала са нивоима концентрације испарења приликом производње и емисије продуката приликом уништавања експлозивних материја?
- а) да
 - б) не
 - в) делимично
13. (НЕПИЕПЈС) Да ли су нивои емисије продуката приликом уништавања експлозивних материја, виши од нивоа емисије продуката из моторних возила у јавном саобраћају?
- а) да
 - б) не
14. (НМУЕМ) Са аспекта екологије, најнеповољније методе уништавања експлозивних материја су сагоревање, односно спаљивање и детонација на отвореном простору:
- а) да
 - б) не
 - в) да, уколико се уништава мање од 100 kg
 - г) не, јер зависи од садржаја азота
 - д) не, најнеповољнија метода је одлагање

21.2. Прилог 2

Прилог 7. Анкетни упитник за утврђивање степена стручне оспособљености запослених са високом стручном спремом у фабрикама за производњу експлозивних материја о емисији продуката услед евентуалног акцидента приликом производње, лабораторије, испитивања, складиштења и употребе и емисији продуката приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава на отвореном простору.

Поштовани,

Прочитајте питање и понуђене одговоре и попуните поље за године радног стажа.

Потребно је да будете искрени и да заокружите баш оно што мислите. Овај упитник је анониман и намењен је искључиво научно-истраживачком раду, а подаци ће бити искоришћени за процену, моделирање и упоредну анализу метода за прорачун продуката емисије приликом процеса производње, испитивања, складиштења, употребе и уништавања експлозивних материја. На основу резултата ће произаћи предлози за евентуална унапређења, смањења или неутралисања потенцијалних емисија у животну средину.

Захваљујем Вам на сарадњи и разумевању.

Питања за лица са вишом и високом стручном спремом:

1. (ГРС) Године стажа: _____
2. (ССС) Степен стручне спреме:
 - а) висококвалификован, б) висока стручна спрема, в) мастер,
 - г) специјализација, д) магистар и њ) доктор наука
3. (СУБС) Састојци убојних средстава (УБС), пре свега експлозивне и хемијске материје имају штетно дејство на животну средину?
 - а) да
 - б) не
4. (НУЕМ) Какав негативни утицај имају експлозивне материје на животну средину?
 - а) занемарљив
 - б) мали
 - в) средњи
 - г) велики
5. (КВЛиДПВО) Корелација пречника ватрене лопте и даљине простирања ватреног облака се огледа у следећем:
 - а) пречник ватрене лопте је обрнуто пропорционалан квадрату растојања ватреног облака
 - б) пречник ватрене лопте и ватрени облак се шире пропорционално 360° , у односу на центар експлозије
 - в) дисперзија ватреног облака, представља транспорт и трансформацију продуката који се одвијају примарно адвекцијом (средина - ветар) и секундарно турбуленцијом, хемијским реакцијама и таложењем док се паралелно ватрена кугла распростире линеарно од центра експлозије, ширењем топлоте експлозије и бласт ефектом ударног таласа
 - г) пречник ватрене лопте је директно пропорционалан концентрацији и количини продуката у ватреном облаку
6. (ПОХРНИЕМ) Који од наведених процеса одвијања хемијске реакције, након иницирања експлозивне материје, производи највише продуката:
 - а) сагоревање

- б) дефлаграција
в) детонација
7. (ТНКП) Где се налази тачка са највећом концентрацијом продуката у односу на центар експлозије?
а) у центру експлозије
б) у тачки пресека ватрене лопте и ватреног облака
в) у центру ватреног облака
8. (ПАП) Да ли повећање атмосферског притиска утиче негативно или позитивно на ниво концентрације продуката?
а) да
б) не
9. (ГПЕП) Направите градацију од 1 до 4, потенцијалне емисије продуката у зависности од понуђених врста запаљивих и експлозивних материја:
а) барута
б) пиротехничких смеша
в) примарних експлозива
г) бризантних експлозива
10. (КДЧИГ) Да ли концентрација диспергованих честица и гасова у ватреном облаку опада са квадратом растојања у односу на центар експлозије?
а) да
б) не
11. (ПЗОУ) Да ли сте имали увид у План заштите у случају акцидента или удеса?
а) да
б) не
12. (ГУНЖС) Направите градацију утицаја на животну средину од 1 до 3, почев од најмањег ка највећем, према степену загађења животне средине следећих експлозива:
а) чистог хексогена
б) хексогена у односу 50:50 са TNT-ом
в) и хексогена у односу 70:30 са Al
13. (ГНУСП) Направите градацију од 1 до 5 наведених нус продуката, према степену негативног утицаја почев од највећег ка најмањем:
а) NO
б) NO_x
в) CO
г) CO₂
д) SO_x
14. (ВОСППр) Ватрени облак са продуктима се може простирати у односу на место потенцијалне експлозије и до:
а) 10000 метара
б) 20000 метара
в) 30000 метара
г) 40000 метара
д) 50000 метара

- 15. (ВОСППо) Ватрени облак са продуктима се може подићи изнад места потенцијалне експлозије и до:**
- 10000 метара
 - 20000 метара
 - 30000 метара
 - 40000 метара
 - 50000 метара
- 16. (МУУбССПр) Са становишта заштите животне средине, које методе уништавања убојних средстава (УбС) су прихватљивије?**
- класичне методе (детонација на отвореном простору, спаљивање на отвореном простору, затворено спаљивање, детонација у детонационој комори и одлагање)
 - допунске методе (делаборација, механички третман, криогено дробљење и сепарационе технологије)
- 17. (МУУбССФНКОП) Применом које од наведених метода уништавања убојних средстава (УбС) се формирају највеће концентрације опасних продуката?**
- детонација на отвореном простору
 - спаљивање на отвореном простору
 - затворено спаљивање
 - детонација у детонационој комори
 - одлагање
 - делаборација
 - механички третман
 - криогено дробљење
 - сепарационе технологије
- 18. (ПКУНИМУУбС) Заокружите параметре који утичу на избор методе уништавања убојних средстава (УбС) приликом уништавања?**
- физичко стање
 - осетљивост експлозивне материје
 - количина убојних средстава (УбС)
 - начин иницијације
 - врста облоге експлозивног пуњења
 - расположиви капацитети и ресурси
 - законска регулатива
 - технолошке могућности примене
 - брзина детонације
- 19. (ОМУУбСК) При одабиру оптималне методе уништавања убојних средстава (УбС), морају се анализирати следећи критеријуми:**
- примењена технологија мора обезбедити потпуно уништавање муниције, експлозивних и погонских материја као и пиротехничких компоненти који су елементи убојних средстава (УбС)
 - примењена технологија не сме имати последица по животну средину и мора бити безбедна по људске и материјалне факторе и мора постојати могућност имплементације системског праћења стања животне средине
 - поступак примене технологије треба бити што је могуће једноставнији
 - примењена технологија мора бити економски оправдана, са минималним утрошком енергије и минималном производњом отпада
 - примењена технологија мора да обезбеди могућност фазног уништавања поступком сагоревања или детонације
 - примењена технологија треба да буде погодна за уништавање већине врста убојних средстава (УбС)
 - изузетак представљају случајеви када убојна средства (УбС) нису безбедна за транспорт,

морају се применити одговарајуће технологије које морају довести у безбедно стање на самој локацији

20. (ИПВКШП) Који је интервал просечних вредности концентрације штетних продуката при уништавању експлозивних материја, за:

- а) угљен диоксид, за сагоревање на отвореном простору, од 2 до 3 g/kg
- б) угљен диоксид, за сагоревање на отвореном простору, више од 10 g/kg
- в) угљен диоксид, за детонацију на отвореном простору, од 30 до 35 g/kg
- г) угљен диоксид, за детонацију на отвореном простору, мање од 10 g/kg
- д) угљен диоксид, за затворену детонацију, 0 g/kg
- ђ) угљен диоксид, за затворену детонацију, више од 5 g/kg
- е) азотни оксиди, за сагоревање на отвореном простору, од 5 до 6 g/kg
- ж) азотни оксиди, за сагоревање на отвореном простору, више од 10 g/kg
- з) азотни оксиди, за детонацију на отвореном простору, од 10 до 11 g/kg
- и) азотни оксиди, за детонацију на отвореном простору, мање од 2 g/kg
- ј) азотни оксиди, за затворену детонацију, од 7 до 8 g/kg
- к) азотни оксиди, за затворену детонацију, од 1 до 2 g/kg
- л) ситне честице, за сагоревање на отвореном простору, од 55 до 60 g/kg
- љ) ситне честице, за сагоревање на отвореном простору, од 10 до 15 g/kg
- м) ситне честице, за детонацију на отвореном простору, од 25 до 30 g/kg
- н) ситне честице, за детонацију на отвореном простору, 0 g/kg
- о) ситне честице, за затворену детонацију, од 1 до 2 g/kg
- п) угљоводоници, за сагоревање на отвореном простору, од 0 до 0,05 g/kg
- р) угљоводоници, за сагоревање на отвореном простору, више од 10 g/kg
- с) угљоводоници, за детонацију на отвореном простору, од 0 до 0,2 g/kg
- т) угљоводоници, за детонацију на отвореном простору, од 2 до 3 g/kg

21. (ВЕЗПНО₂Е) Вредности емисије загађивача преко NO₂ – еквивалента, при уништавању експлозивних материја, за:

- а) сагоревање на отвореном простору, 285 g/kg
- б) сагоревање на отвореном простору, 75 g/kg
- в) детонацију на отвореном простору, 141 g/kg
- г) детонацију на отвореном простору, 61 g/kg
- д) затворена детонација, 14 g/kg
- ђ) затворена детонација, 4 g/kg
- е) затворено спаљивање, 70 g/kg
- ж) затворено спаљивање, 40 g/kg

21.3. Прилог 3

Кодна листа анкетног упитника за утврђивање степена стручне оспособљености запослених са средњом стручном спремом у фабрици за производњу експлозивних материја о емисији продуката услед евентуалног акцидента приликом производње, лабораторије, испитивања, складиштења и употребе и емисији продуката приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава на отвореном простору

Редни број	Ознака променљиве	Променљива (скраћеница)	Врста променљиве	Скала мерења	Модалитети променљиве	Кодови	Оцена стручног познавања емисије продуката	Број бодова
1.	П	пол	квалитативна	номинална	мушки	1	-	-
					женски	2	-	
2.	ГРС	године радног стажа	квалитативна	интервална	до 10	1	-	-
					11-20	2	-	
					21-30	3	-	
					31-40	4	-	
					41-45	5	-	
3.	ССС	степен стручне спреме	квалитативна	ординална	ВКВ	1	-	-
4.	СУБС	Штетност састојака убојних средстава	квалитативна	номинална	да	1	ниспуњава	0
					не	2	испуњава	5
5.	НУЕМ	Негативни утицај ЕМ	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	5
6.	МДНКЕУП	Поштовање максимално дозвољене НКЕ експлозива у погонима	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10
7.	МДНКЕМУПМИС	Поштовање максимално дозвољене НКЕ у погонима	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10
8.	МДНКЕМУФ	Поштовање максимално дозвољене количине НКЕ по фугаси	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10

Редни број	Ознака променљиве	Променљива (скраћеница)	Врста променљиве	Скала мерења	Модалитети променљиве	Кодови	Оцена стручног познавања емисије продуката	Број бодова
9.	ПОМДНКЕУФИМ ДФ	Количина максимално дозвољене НКЕ у фугаси и број фугаса	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
10.	СКИШС	Одговарајућа стручна квалификација и стручна спрема	квалитативна	номинална	O-1	2	неиспуњава	0
					O-2	3	испуњава	10
11.	ПЗУ	Увид у План заштите од удеса	квалитативна	номинална	O-1	2	неиспуњава	0
					O-2	3	испуњава	10
12.	НКИИЕПШУЕМ	Упознавање са нивоима концентрације и испарења	квалитативна	номинална	O-1	2	неиспуњава	0
					O-2	3	испуњава	10
13.	НЕПИЕПЈС	Нивои емисије продуката ЕМ су виши од емисије продуката јавног саобраћаја	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
14.	НМУЕМ	Да ли су сагоревање и детонација најнеповољније методе са аспекта екологије			O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
О ц е н а стручне оспособљености/бодови			неиспуњава		0 - 60			
			Испуњава		61 - 80			

21.4. Прилог 4

База података за статистички обраду података из Анкетног упитника за утврђивање стручне оспособљености запослених лица са средњом стручном спремом у фабрикама за производњу експлозивних материја о емисији продуката услед евенуалног акцидента приликом производње, лабораторије, испитивања, складиштења и употребе и емисији продуката приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава на отвореном простору.

Испитаник	Обележја ⁷														Број бодова	Оцена стручне оспособљености ⁸
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	П	ГРС	ССС	СУБС	НУЕМ	МДНКЕУП	МДНКЕМУПМ ИС	МДНКЕМУФ	ПОМДНКЕУФ ИМДФ	СКИШС	ПЗУ	НКИИПШУЕ М	НЕШЕПЈС	НМУЕМ		
1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	30	неиспуњава
2	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	10	неиспуњава
3	1	5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	20	неиспуњава
4	1	4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	20	неиспуњава
5	2	4	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	30	неиспуњава
6	1	4	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	30	неиспуњава
7	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	20	неиспуњава
8	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	15	неиспуњава
9	1	3	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	30	неиспуњава
10	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	20	неиспуњава
11	1	3	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	15	неиспуњава
12	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	10	неиспуњава
13	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	20	неиспуњава
14	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	30	неиспуњава
15	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	20	неиспуњава
16	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	30	неиспуњава
17	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	30	неиспуњава
18	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	30	неиспуњава
19	1	5	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	20	неиспуњава
20	1	5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	10	неиспуњава
21	2	4	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	10	неиспуњава
22	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	20	неиспуњава
23	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	20	неиспуњава
24	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	20	неиспуњава
25	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	10	неиспуњава
26	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	20	неиспуњава
27	1	4	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	30	неиспуњава
28	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	30	неиспуњава
29	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	30	неиспуњава
30	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	30	неиспуњава
31	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	30	неиспуњава
32	1	4	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	30	неиспуњава
33	2	5	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	40	неиспуњава
34	1	4	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	20	неиспуњава

⁷ Обележја се уносе из кодне листе дате у Прилогу бр. 7 и одговарају питању из упитника датог у Прилогу бр. 6.

⁸ П - испуњава, НИ - неиспуњава.

Испитаник	Обележја ⁷														Број бодова	Оцена стручне оспособљености ⁸
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	П	ГРС	ССС	СУБС	НУЕМ	МДНКЕУП	МДНКЕМУПМ ИС	МДНКЕМУФ	ПОМДНКЕУФ ИМДФ	СКИПС	ПЗУ	НКИЕПШУЕ М	НЕПЕПЈС	НМУЕМ		
35	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	35	неиспуњава
36	1	4	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	40	неиспуњава
37	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	40	неиспуњава
38	1	4	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	20	неиспуњава
39	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	30	неиспуњава
40	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	40	неиспуњава
41	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	40	неиспуњава
42	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	20	неиспуњава
43	2	4	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	30	неиспуњава
44	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	10	неиспуњава
45	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	неиспуњава
46	1	5	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	30	неиспуњава
47	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	30	неиспуњава
48	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	40	неиспуњава
49	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	40	неиспуњава
50	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	50	неиспуњава
51	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	30	неиспуњава
52	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	20	неиспуњава
53	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	30	неиспуњава
54	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	10	неиспуњава
55	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	20	неиспуњава
56	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	20	неиспуњава
57	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	40	неиспуњава
58	1	5	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	30	неиспуњава
59	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	20	неиспуњава
60	1	3	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	30	неиспуњава
61	2	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	30	неиспуњава
62	1	4	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	40	неиспуњава
63	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	40	неиспуњава
64	1	4	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	40	неиспуњава
65	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	75	неиспуњава
66	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
67	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	90	испуњава
68	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	85	испуњава
69	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	85	испуњава
70	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	85	испуњава
71	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	80	испуњава
72	2	3	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
73	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	75	испуњава
74	2	4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
75	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	90	испуњава
76	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	80	испуњава
77	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	70	испуњава
78	1	3	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	75	испуњава
79	1	3	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	85	испуњава

Испитаник	Обележја ⁷														Број бодова	Оцена стручне оспособљености ⁸
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	П	ГРС	ССС	СУБС	НУЕМ	МДНКЕУП	МДНКЕУПМ ИС	МДНКЕУФ	ПОМДНКЕУФ ИМДФ	СКИПС	ПЗУ	НКИЕПШУЕ М	НЕПЕПЈС	НМУЕМ		
80	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	85	испуњава
81	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	75	испуњава
82	2	3	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	90	испуњава
83	1	3	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	75	испуњава
84	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	65	испуњава
85	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	85	испуњава
86	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	90	испуњава
87	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	90	испуњава
88	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	75	испуњава
89	2	3	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	85	испуњава
90	1	4	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	80	испуњава
91	1	3	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	75	испуњава
92	1	4	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	75	испуњава
93	2	4	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	85	испуњава
94	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	75	испуњава
95	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	70	испуњава
96	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	75	испуњава
97	1	3	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	60	испуњава
98	2	3	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	70	испуњава
99	1	3	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	75	испуњава
100	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	45	неиспуњава
101	1	4	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	70	испуњава
102	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	60	испуњава
103	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	60	испуњава
104	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	65	испуњава
105	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	65	испуњава
106	1	3	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	60	испуњава
107	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	60	Испуњава
108	2	3	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	70	испуњава
109	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	70	испуњава
110	1	3	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	60	испуњава
111	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	60	испуњава
112	2	3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	60	испуњава
113	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	60	испуњава
114	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	70	испуњава
115	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	75	испуњава
116	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	70	испуњава
117	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	70	испуњава
118	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	65	испуњава
119	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	65	испуњава
120	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
121	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	80	испуњава
122	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	65	испуњава
123	1	3	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	70	испуњава
124	1	3	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	70	испуњава

Испитаник	Обележја ⁷														Број бодова	Оцена стручне оспособљености ⁸
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	П	ГРС	ССС	СУБС	НУЕМ	МДНКЕУП	МДНКЕУПМ ИС	МДНКЕУФ	ПОМДНКЕУФ ИМДФ	СКИПС	ПЗУ	НКИЕПШУЕ М	НЕПЕПЈС	НМУЕМ		
125	2	4	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	60	испуњава
126	1	5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	60	испуњава
127	2	4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	70	испуњава
128	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	75	испуњава
129	2	3	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	80	испуњава
130	1	4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	80	испуњава
131	1	3	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	60	испуњава
132	1	3	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	60	испуњава
133	1	4	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	60	испуњава
134	2	5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	80	испуњава
135	1	5	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	60	испуњава
136	1	4	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	60	испуњава
137	1	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	60	испуњава
138	1	4	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	60	испуњава
139	1	5	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	70	испуњава
140	1	4	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	75	испуњава
141	1	4	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	90	испуњава
142	2	4	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	85	испуњава
143	1	4	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	65	испуњава
144	1	4	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	60	испуњава
145	2	5	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	70	испуњава
146	1	3	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	65	испуњава
147	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	65	испуњава
148	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
149	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	70	испуњава
150	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	70	испуњава
151	1	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
152	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	75	испуњава
153	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
154	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	65	испуњава
155	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	70	испуњава
156	1	3	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	70	испуњава
157	1	4	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	75	испуњава
158	1	4	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	65	испуњава
159	1	3	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	60	испуњава
160	2	4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	80	испуњава

21.5. Прилог 5

Кодна листа анкетног упитника за утврђивање степена стручне оспособљености запослених са високом стручном спремом у фабрици за производњу експлозивних материја о емисији продуката услед евентуалног акцидента приликом производње, лабораторије, испитивања, складиштења и употребе и емисији продуката приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава на отвореном простору

Редни број	Ознака променљиве	Променљива (скраћеница)	Врста променљиве	Скала мерења	Модалитети променљиве	Кодови	Оцена стручног познавања емисије продуката	Број бодова
1.	ГРС	године радног стажа	квалитативна	интервална	до 10	1	-	-
					11-20	2	-	
					21-30	3	-	
					31-40	4	-	
					41-45	5	-	
2.	ССС	степен стручне спреме	квалитативна	ординална	ВКВ	1	-	-
3.	СУБС	Штетност састојака убојних средстава	квалитативна	номинална	да	1	неиспуњава	0
					не	2	испуњава	5
4.	НУЕМ	Негативни утицај ЕМ	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	5
5.	КВЛиДПВО	Корелација пречника ватрене лопте и даљине простирања ватреног облака	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10
6.	ПОХРНИЕМ	Процес одвијања хемијске реакције, након иницирања, производи највише продуката	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10
7.	ТНКП	Највећа концентрација продуката у односу на центар експлозије	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10
8.	ПАП	Повећање атмосферског притиска утиче негативно или позитивно на ниво концентрације продуката	квалитативна	номинална	О-1	1	неиспуњава	0
					О-2	2	испуњава	10

9.	ГПЕП	Градација потенцијалне емисије у зависности од понуђених врста запаљивих и експлозивних материја	квалитативна	номинална	O-1	2	неиспуњава	0
					O-2	3	испуњава	10
10.	КДЧИГ	Концентрација диспергованих честица и гасова у ватреном облаку опада са квадратом растојања у односу на центар експлозије	квалитативна	номинална	O-1	2	неиспуњава	0
					O-2	3	испуњава	10
11.	ПЗОУ	Увид у План заштите од удеса	квалитативна	номинална	O-1	2	неиспуњава	0
					O-2	3	испуњава	10
12.	ГУНЖС	Градација утицаја на животну средину од најмањег ка највећем према степену загађења животне средине	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
13.	ГНУСП	Градација наведених продуката према степену негативног утицаја од највећег ка најмањем	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
14.	ВОСППр	Ватрени облак са продуктима се може простирати у односу на место потенцијалне експлозије до метара	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
15.	ВОСППо	Ватрени облак са продуктима се може подићи изнад места потенцијалне експлозије до метара	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10

16.	МУУ6ССПр	Са становишта заштите животне средине које методе уништавања су најприхватљивије	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
17.	МУУ6ССФНКОП	Применом које од наведених метода се формирају највеће концентрације продуката	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
18.	ПКНИМУУ6С	Параметри који утичу на избор методе уништавања убојних средстава	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
19.	ООМУУ6СК	При одабиру оптималне методе, морају се анализирати следећи критеријуми	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
20.	ИПВКШП	Интервали просечних вредности концентрација штетних продуката при уништавању експлозивних материја	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
21.	ВЕЗПNO ₂	Вредности емисије загађивача NO ₂ – еквивалента при уништавању експлозивних материја	квалитативна	номинална	O-1	1	неиспуњава	0
					O-2	2	испуњава	10
О ц е н а стручне оспособљености/бодови			неиспуњава		0 - 60			
			Испуњава		61 - 80			

21.6. Прилог 6

База података за статистички обраду података из Анкетног упитника за утврђивање стручне оспособљености запослених лица са високом стручном спремом у фабрикама за производњу експлозивних материја о емисији продукта услед евентуалног акцидента приликом производње, лабораторије, испитивања, складиштења и употребе и емисији продукта приликом уништавања експлозивних материја и убојних средстава на отвореном простору

Испитаник	Обележја ⁹																					Број бодова	Оцена стручне оспособљености ¹⁰
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	85	испуњава
2	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	65	испуњава
3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	75	испуњава
5	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	80	испуњава
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	70	испуњава
7	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
8	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	70	испуњава
9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
10	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	90	испуњава
11	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	75	испуњава
12	4	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	85	испуњава
13	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
14	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	80	испуњава
15	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	90	испуњава
16	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	90	испуњава
17	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	85	испуњава
18	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	70	испуњава
19	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	80	испуњава
20	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	70	испуњава
21	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
22	4	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	85	испуњава
23	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	85	испуњава
24	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	65	испуњава
25	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	70	испуњава
26	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
27	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	65	испуњава
28	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	80	испуњава
29	5	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	70	испуњава
30	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	75	испуњава
31	4	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	80	испуњава
32	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	60	испуњава
33	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	65	испуњава
34	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	65	испуњава
35	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
36	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	95	испуњава

⁹ Обележја се уносе из кодне листе дате у Прилогу бр. 7 и одговарају питању из упитника датог у Прилогу бр. 6.

¹⁰ И - испуњава, НИ - неиспуњава.

Испитаник	Обележја ⁹																					Број бодова	Оцена стручне оспособљености ¹⁰
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
37	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	65	испуњава
38	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
39	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	65	испуњава
40	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	85	испуњава
41	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	70	испуњава
42	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	95	испуњава
43	4	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	85	испуњава
44	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	65	испуњава
45	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	90	испуњава
46	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
47	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	95	испуњава
48	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	100	испуњава
49	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	30	неиспуњава
50	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	40	неиспуњава
51	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	50	неиспуњава
52	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	35	неиспуњава
53	3	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	30	неиспуњава
54	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	25	неиспуњава
55	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	30	неиспуњава
56	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	45	неиспуњава
57	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	25	неиспуњава
58	3	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	30	неиспуњава
59	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	45	неиспуњава
60	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	50	неиспуњава

21.7. Прилог 7

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: **Небојша Вучићевић**

Број индекса: **14/2015**

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

***РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА НАСТАЛИХ У ПРОЦЕСУ
САГОРЕВАЊА И ДЕТОНАЦИЈЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА***

- резултат сопственог истраживачког рада,
- Да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица,

Потпис аутора

У Бору, _____

21.8. Прилог 8

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора **Небојша Вучићевић**

Број индекса: **14/2015**

Студијски програм: **Инжењерски менаџмент**

Наслов рада: ***РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА НАСТАЛИХ У ПРОЦЕСУ САГОРЕВАЊА И ДЕТОНАЦИЈЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА***

Ментор: Проф. др Милован Вуковић, редовни професор

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада. Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић” да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА НАСТАЛИХ У ПРОЦЕСУ САГОРЕВАЊА И ДЕТОНАЦИЈЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

21.10. Прилог 10

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела и прераде ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.