

**МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ
ВОЈНА АКАДЕМИЈА**



**МАСТЕР РАД
УНАПРЕЂЕЊЕ ТРАНСПОРТА ОПАСНЕ РОБЕ КРОЗ
НАСЕЉЕНО МЕСТО**

Студент:
поручник
Стефан Јовановић

Ментор:
пуковник, ванр. проф.
др Срђан Димић, дипл. инж.

Београд, 2026. године

САДРЖАЈ

1. УВОД	3
2. ПРЕЛИМИНАРНА ИСТРАЖИВАЊА.....	5
3. ОПАСНА РОБА У ТРАНСПОРТУ	12
3.1. Учесници у транспорту опасне робе	13
3.2. Класификација и обележавање опасне робе	15
3.3. Обележавање опасне робе и транспортних средстава	19
3.3.1. Обележавање опасне робе	20
3.3.2. Обележавање возила за транспорт опасне робе	21
4. НОРМАТИВНА РЕГУЛАТИВА У ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА ОПАСНЕ РОБЕ ...	24
4.1. Нормативна регулатива у Републици Србији	24
4.2. Нормативна регулатива у Министарству одбране и Војсци Србије.....	26
5. ИЗБОР ОПТИМАЛНЕ РУТЕ У ТРАНСПОРТНОЈ МРЕЖИ.....	28
5.1. Модел за оптимизацију транспорта опасне робе.....	28
5.2.1. Стандардни проблем рутинга транспортних средстава	29
5.2.2. Clarke-Wright-ов алгоритам ”уштеда” за пројектовање саобраћајних рута.....	30
5.2.3. Генерички алгоритам за изналажење најкраћих путева од једног чвора до свих осталих чворова у мрежи.....	32
5.2.4. Алгоритам Дијкстре	33
5.2.5. Алгоритам за изналажење најкраћих путева између свих парова чворова	35
6. ПРЕДЛОГ МОДЕЛА ЗА МИНИМИЗИРАЊЕ РИЗИКА ПРИ ТРАНСПОРТУ ОПАСНЕ РОБЕ.....	38
6.1. Модел за конструкцију оптималне руте.....	38
6.2. Избор критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе	40
6.2.1. Спровођење анкете у циљу избора критеријума	41
7. ТЕСТИРАЊЕ ПРЕДЛОЖЕНОГ МОДЕЛА	53
7.1. Дефинисање задатка.....	53
7.2. Израда мреже и вредновање грана.....	55
7.3. Примена Дијкстра алгоритма за проналазак оптималне руте.....	59
7.4. Примена Дијкстра алгоритма за проналазак најкраће руте.....	61
7.5. Анализа добијеног резултата.....	62
8. ЗАКЉУЧАК.....	65
9. ЛИТЕРАТУРА	67
СПИСАК СЛИКА	68
СПИСАК ТАБЕЛА	69

1. УВОД

Реализација сваког транспортног задатка чији је предмет превозења опасна роба праћена је одређеним ризиком од акцидентног догађаја са нежељеним последицама, које могу да доведу у опасност живот и здравље људи и угрозе животну средину. Обим ових последица сразмеран је врсти и количини опасне робе, а зависи и од временских услова, карактеристика терена и других чиниоца.

Приликом планирања транспорта опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије главни критеријум за избор руте су најчешће трошкови транспорта, тј. најчешће се користи рута са најкраћим путем, при чему се занемарује количина ризика коју изабрана рута носи са собом.

У овом раду је, на примеру из праксе, приказана разлика у ризику која се појављује приликом коришћења оптималне руте и руте са најкраћим пређеним путем. У литератури се као модели за избор руте најчешће јављају стандардни проблем рутинга транспортних средстава, Clarke-Wright-ов алгоритам "уштеда" за пројектовање саобраћајних рута, генерички алгоритам за изналажење најкраћих путева од једног чвора до свих осталих чворова у мрежи, алгоритам за изналажење најкраћих путева између свих парова чворова и Дијкстрин алгоритам. За проналазак оптималне руте у задатку коришћен је алгоритам Дијкстре, а критеријуми за оцењивање оптималности су добијени путем анкете.

Рад обухвата шест тачака међусобно повезаних и усклађених постављеним предметом и циљем истраживања.

Након увода у другој тачки рада дата су прелиминарна истраживања кроз формулисање предмета, циљева и начина истраживања.

У трећој тачки дефинисани су термин опасна роба и обавезе учесника у транспорту опасне робе, представљена је њена класификација и описано је њено обележавање, као и обележавање возила која се користе за транспорт ове робе.

Нормативна регулатива која је значајна за ову област транспорта обрађена је у четвртој тачки рада.

Један од проблема који се јавља приликом планирања транспорта опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије је тај што се оно најчешће врши на основу искуства, без научне основе. У петој тачки рада описани су модели за избор руте који се најчешће користе.

У шестој тачки рада да је предлог модела за минимизирање ризика при транспорту опасне робе уз приказ поступка одређивања критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе са циљем минимизације ризика. Креирана је анкета, формулисана су анкетна питања и извршена је оцена компетенције експерата. Након потврђивања да су испитаници компетентни, извршена је анализа одговора и прорачуном је сваком критеријуму додељен тежински коефицијент. Резултат прорачуна спроведених у овој тачки је коначан ранг критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе на основу којег је одређена њихова важност.

Описани метод за избор оптималне руте за транспорт опасне робе примењен је на конкретном задатку из јединице Војске Србије. Модел је детаљно разрађен и приказан у седмој тачки овог рада. Након завршених прорачуна приказани су резултати и изведени одређени закључци.

2. ПРЕЛИМИНАРНА ИСТРАЖИВАЊА

Процес систематичног прикупљања и анализирања података у циљу откривања нових знања је науце је познат под појмом истраживање. Такође, истраживање се може дефинисати и као разумевање природних или друштвених процеса и појава, унапређење постојећих технологија и проналажење решења за проблеме. Полазна тачка сваког истраживања представља дефинисање проблема. Суштинска улога дефинисања проблема истраживања јесте прецизније и реалније извођење предмета истраживања. Кроз научну замисао истраживач даје одговоре на три суштинска питања [1]:

- Шта се истражује?
- Зашто се истражује?
- Како се истражује?

Давањем одговора на ова три питања релатизују се три фазе у поступку истраживања, па тако одговор на прво питање представља предмет истраживања, на друго питање представља циљ истраживања, а на треће питање начин истраживања.

Како би се у раду дефинисао методолошки приступ истраживању, употребљен је приступ методологије ратне вештине, односно онај парцијални део овог приступа који се односи на одређивање предмета истраживања, постављених циљева и одређивање начина истраживања.

Део научне замисли којим се дефинише одговор на питање: шта се истражује? представља предмет истраживања. Он проистиче из формулације проблема и то непосредно из основног питања, а посредно из суштине проблема истраживања. У погледу обима истраживања, предмет истраживања никако не сме бити шири од самог проблема истраживања, односно предмет истраживања може бити искључиво једнак или ужи од проблема истраживања. Одређивање предмета истраживања састоји се од више парцијалних одређења попут [2]:

- прелиминарног,
- теоријског,
- операционалног,
- просторног,
- временског и
- дисциплинарног.

ПРЕЛИМИНАРНО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕДМЕТА ИСТРАЖИВАЊА УСПОСТАВЉА ТЕМЕЉНЕ ОКВИРЕ УНУТАР КОЈИХ СЕ РАЗВИЈА ДАЉА ЕЛАБОРАЦИЈА ПРЕДМЕТА ИСТРАЖИВАЊА. Овим поступком прецизније се дефинише наслов предмета истраживања, као и оквирни став о садржајима који се на њега односе, односно који представљају предмет анализе. Проистиче из формулације проблема, непосредно из кључног питања чије директно имплицирање одређује наслов предмета истраживања. Квалитетно одређивање предмета истраживања захтева доследну примену принципа егзактности, реалности и ограничености.

ПРЕЛИМИНАРНО ОДРЕЂЕЊЕ ПРЕДМЕТА ИСТРАЖИВАЊА ОВОГ РАДА ГЛАСИ: *Могућност унапређења транспорта опасне робе кроз насељено место.*

Теоријско одређивање предмета истраживања представља кључни корак у процесу дефинисања самог предмета, јер омогућава потпун увид у његов обим и садржај. Овим поступком се успоставља теоријски оквир који прецизно одређује границе и домет сазнања о теми истраживања. Такво одређивање чини неопходан предуслов за операционализацију предмета, односно за егзактно и јасно дефинисање онога што се конкретно анализира [2].

Кроз теоријско одређење потребно је:

- разграничити научно утврђено знање од периферних сазнања и од научне непознатнице,
- издвојити појмове који чине предмет истраживања,
- кроз дефиниције појмова и термина егзактно одредити значење и садржај предмета истраживања.

Циљ истраживања је долазак до сазнања на који начин се може унапредити процес транспорта опасне робе кроз насељено место. Унаређење транспорта опасне робе подразумева поступак одређивања оптималне руте, оне са најмањом количином ризика. Сазнања која треба користити приликом истраживања јесу досадашња сазнања која се односе на оптимизацију транспорта опасне робе. Поред истраживања и сазнања спровођена у оквиру војног система, потребно је узети у обзир и сва друга сазнања која могу помоћи приликом унапређења система транспортне подршке. Неки од резултата досадашњих истраживања и њихова примена могу се пронаћи у раду Јелене Малетић и Александра Јовановића на тему „Управљање ризиком при транаспорту опасне робе кроз насељено место” у коме се истражују методе оптимизације транспорта опасне робе на основу одређених критеријума. Такође, у раду Дејана Томића и Сенише Сремца на тему „Транспорт опасне робе кроз насеља – прилози за идентификацију токова и заштиту

објеката“, наведено је шта је то потенцијално угрожено транспортом опасне робе кроз насеља.

За представљање теоријског одређења предмета истраживања неопходно је дефинисати неколико кључних појмова:

- транспорт,
- опасна роба,
- насељено место.

Транспорт:

Реч транспорт у директном преводу значи пренос или превоз, и врло често се користи у саобраћајно-транспортној струци и науци. Сама реч транспорт потиче од латинских речи „trans” – преко и „portare” – носити, „transportare” – преко носити, превозити. Под транспортом, сасвим уопштено, подразумева се скуп или комплекс активности на премештању (превозу) путника и робе уз помоћ транспортних средстава (возила) од „извора” до „циља” путовања [3]. У том процесу, путници и роба представљају предмет рада, а транспортна средства средства рада. При тумачењу појма транспорт, може се потенцирати економски и технички моменат. Ако се наглашава економски моменат, транспорт је финални део производње или грана производње, док ако се наглашава технички моменат, односно његове техничке карактеристике, може се рећи да транспорт представља промену места људи и робе у простору.

У војној теорији и пракси транспорт представља „премештање, превозење, преношење људства, стоке и материјалних средстава с једног места на друго”. Посебан облик транспорта је пребацивање јединица и материјалних средстава из једног места у друго транспортним средствима која се налазе у саставу јединице, а за који се користи термин превозење. Транспорт је уједно и логистичка функција којом се обезбеђује превоз људства и материјалних средстава на копну, у ваздуху и воденим путевима [3].

Опасна роба:

Према Закону о транспорту опасне робе у Републици Србији, опасну робу представљају супстанце или предмети који у току транспорта могу угрозити здравље и живот људи, имовину или животну средину [4]. Транспорт ове робе захтева поштовање одређених прописа, који су дефинисани на међународном нивоу а заснивају се на три конвенције:

- ADR (односи се на транспорт опасне робе путевима),

- RID (транспорт опасне робе железницом) и
- ADN (дефинише транспорт опасне робе унутрашњим пловним путевима).

О дефинисању опасне робе и појмовима који су кључни за овај појам биће више речи у трећој тачки рада.

Насељено место

Овај термин је дефинисан Законом о територијалном уређењу Републике Србије и представља део територије општине који има изграђене објекте за становање и привређивање, основну комуналну структуру и друге објекте за задовољење потреба становника који су ту стално насељени [5].

У овом раду је појам насељеног места битан јер се избором оптималне руте тежи ка томе да се у случају акцидента избегну последице по становништво и инфраструктуру – елементе који су кључни за дефинисање појма *насељено место*.

Операционално одређење предмета истраживања представља таксативно набрајање систематизованих садржаја који су претходно захваћени и дефинисани у теоријском одређењу предмета истраживања [2].

Према томе, операционално одређење предмета овог истраживања је:

- дефинисање термина опасне робе;
- изучавање нормативних аката који уређују ову активност;
- сагледавање модела за минимизирање ризика у транспорт опасне робе;
- предлагање модела за избор оптималне руте за транспор опасне робе.

Просторно одређење предмета истраживања односи се на издвојен простор на коме се налазе појаве или процеси који се истражују. У складу са тим, предмет истраживања односи се на целокупну територију Републике Србије.

Временско одређење предмета истраживања односи се на временски оквир у којем се анализира феномен који је предмет разматрања. У контексту овог истраживања, предмет је временски позициониран у садашњости и будућности. Садашњи аспект истраживања обухвата анализу постојећих модела за минимизацију ризика у транспорту опасне робе, њихових функционалних карактеристика, предности, ограничења и могућности примене. Будућа димензија истраживања усмерена је могућност дефинисање јединственог модела

за минимизацију ризика, односно за избор оптималне руте за транспорт опасне робе у насељеном месту.

Дисциплинарно одређење предмета истраживања подразумева утврђивање научне дисциплине у коју спада истраживање, а оно може бити:

- интрадисциплинарно (ако предмет истраживања припада једној науци или научној дисциплини) или
- интердисциплинарно (ако припада предметима више наука или научних дисциплина).

Ово истраживање има предмет истраживања интрадисциплинарног карактера, јер је везано за област транспорта, научна подручја организације, односно саобраћаја и транспорта.

Циљеви истраживања представљају део научне замисли којом се дефинише ниво научних сазнања која је потребно истраживањем остварити и даје одговор на питање: Зашто се врши истраживање? Они имају двоструку функцију: одређују ниво научног сазнања за којим се тежи спровођењем истраживања (научни циљеви), и указују на могућности примене добијених резултата у теорији и пракси (практични циљеви).

Поред класификације циљева која је представљена у раду, у научноистраживачкој пракси постоји и подела циљева на опште и парцијалне. Крајњи исход којем се тежи представља општи циљ, док су парцијални циљеви низ мањих, међусобно повезаних истраживачких задатака, кроз које се долази до општег циља. Општи циљ овог рада *јесте анализа транспорта опасне робе у Војсци Србије, идентификација могућности унапређења процеса транспорта опасне робе и предлог модела за унапређење транспорта опасне робе кроз насељено место.*

Парцијални циљеви истраживања су:

- дефинисање предмета истраживања,
- дефинисање термина опасна роба,
- изучавање правилника којима је дефинисан транспорт опасне робе,
- проналажење модела за минимизирање ризика при транспорту опасне робе.

Начин истраживања представља саставни део научне концепције, којим се одговара на питање начина спровођења истраживања. Овим елементом се дефинише методолошко-инструментални апарат за прикупљање и обраду података. У опису начина истраживања

не износи се теоријска излагања о појединим методама, изворима података или врстама обухвата – будући да су позната – већ се образлаже њихова конкретна примена у оквиру предвиђеног поступка.

Начин истраживања у сагласности је са предметом и циљевима истраживања и утврђује се кроз обраду [2]:

- метода истраживања,
- извора података и
- обухвата истраживања.

Начин истраживања се обликује у складу са предметом и циљевима истраживања, постављеним хипотезама, као и у зависности од претходног искуства истраживача и других фактора. Он је један од битних елемената методолошког оквира научног рада и чини кључни део концептуалног нацрта истраживачког пројекта.

У оквиру овог истраживања, за потребе прикупљања, систематизације и анализе података, примењен је сет различитих научно утемељених метода и техника, као што су:

- метода анализе садржаја,
- компаративна анализа,
- метода испитивања (анкетирање и интервјуисање),
- методе транспортних мрежа,
- метода за оцену компетенције експерата,
- метода вишекритеријумског одлучивања.

Ограничења у истраживању су одређени фактори и услови који могу да утичу на могућности истраживача да оствари жељене циљеве, прикупља потребне податке и која могу да му отежају пут до решења одређених проблема. Она могу укључити различите аспекте, као што су финансијска, техничка, правна, етичка, организациона, социјална, политичка и културна ограничења.

Приликом вредновања грана у транспортној мрежи, на основу критеријума који су дефинисани у раду, јавила су се одређена ограничења у истраживању. Наиме, како би се вредновање грана извршило на најреалнији начин потребно је доћи до одређених база података, које нису лако доступне (на пример, тешко је доћи до податка колико становника живи у некој улици-грани транспортне мреже). Из тог разлога, вредности ових критеријума одређене су апроксимативном методом. Такође, једно од битних ограничења

у раду јавило се приликом спровођења анкете за одређивање критеријума. Оно се огледа у малој бази података, односно малом броју испитаника који су били квалификовани за одлучивање о вредностима критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе.

3. ОПАСНА РОБА У ТРАНСПОРТУ

Транспорт опасне робе уређен је Правилником о транспорту опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије. Транспорт ове робе се разликује од транспорта осталих врста робе због последица које могу настати услед саобраћајне или друге незгоде. Приликом дефинисања појма „опасне робе“, често долази до грешке која подразумева изједначавање појмова „опасна роба“, „опасан терет“ и „опасна материја“ (Слика 1). Ови појмови су у Правилнику о транспорту опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије дефинисани на следећи начин [6]:

1. Опасна роба су материје и предмети чији је транспорт забрањен, односно дозвољен ако се обавља под условима прописаним Европским споразумом о међународном друмском превозу опасне робе (ADR), Правилником о међународном железничком превозу опасне робе (RID) и Европским споразумом о међународном транспорту опасног терета на унутрашњим пловним путевима (ADN);
2. Опасан терет је опасна роба која је прописно упакована, обележена одређеним обележјима и ознакама, са исправно попуњеним превозним документима и утоварена у превозно средство;
3. Опасне материје су оне материје које при производњи, паковању, складиштењу, транспорту (унутрашњем и јавном), руковању и коришћењу могу бити опасне и штетне по здравље људи или могу довести до материјалних штета на имовини, уколико се њима нестручно рукује. Без обзира на степен опасности, ове материје имају широку примену како у привреди, тако и у свакодневном животу. Са опасним материјама морамо да живимо, зато је веома важно да се стручним оспособљавањем свих лица која су са њима у контакту могућност настајања незгоде сведе на најмању могућу меру.



Слика 1. Опасан терет

Транспорт опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије врши се војним превозним средствима за сопствене потребе и за потребе других јединица и установа, а ако се транспорт опасне робе не може извршити сопственим превозним средствима, транспорт се може организовати и прибављањем услуга од овлашћених превозника [6].

3.1. Учесници у транспорту опасне робе

Задатак учесника у транспорту опасне робе је да се придржавају свих прописаних мера у циљу спречавања ванредних догађаја, односно у циљу максималног умањења последица у случају акцидента [6].

Учесници у транспорту опасне робе у МО и ВС су [6]:

1. Пошиљалац;
2. Организатор транспорта;
3. Пакер;
4. Пунилац;
5. Утоварилац;
6. Давалац услуге претовара при промени вида саобраћаја у транспорту опасне робе;
7. Истоварилац;
8. Превозник;
9. Прималац.

Сваки од учесника у транспорту опасне робе представља јединицу или установу Војске Србије или организацију ван система одбране, која обавља неку од услуга везану за превоз опасне робе за Министарство одбране.

Послови које обавља пошиљалац у току транспорта опасне робе су [6]:

- контролише да ли сме да се превози опасна роба,
- прописано обележава робу у складу са њеном класификацијом и у складу са ADR-ом,
- робу отпрема у одговарајућој амбалажи, а превознику даје документа о транспорту опасне робе и информације о роби.

Дужност организатора транспорта је да организује превоз опасне робе за пошиљалоца или примаоца, односно за обе стране истовремено [6].

Приликом транспорта коадне робе до изражаја долази улога пакера опасне робе, јер се његови послови односе на паковање и обележавање пошиљки. Приликом превоза коадне

робе одређује се утоварилац опасне робе, док се код превоза погонских средстава одређује пунилац опасне робе [6].

Дужности пуниоца опасне робе су [6]:

- контрола исправности моторног возила и провера да ли је извршено техничко испитивање моторног возила у дефинисаном року,
- провера компатибилност опасне робе у одељцима,
- одобравање пуњења средства само одређеном врстом робе и контрола максималног степен пуњења транспортног средства,
- контрола затвореност возила,
- провера да ли је возило прописано обележено и означено.

Истоварилац опасне робе одговоран је за [6]:

- контролу исправности (оштећености) возила пре истовара, како би утврдио да ли је безбедно истоварити робу,
- у случају изливања уклања опасну робу,
- контролу вентила на возилу и вршење деконтаминације возила.

Превозник опасне робе је у обавези да [6]:

- преконтролише комплетност потребне документације за превоз опасне робе и провери да ли је превоз опасне робе у складу са ADR-ом,
- провераи да ли је моторно возило прописно обележено,
- изврши визуелни преглед возила и
- провери да ли је моторно возило преоптерећено.

У току транспорта опасне робе, лице које управља моторним возилом мора поседовати следећу документацију [6]:

- одобрење за транспорт опасне робе издато од стране претпостављене команде у случају да се врши транспорт на удаљености до 100 километара, или Управе за логистику (Ј-4) ГШ ВС за удаљености преко 100 километара,
- сертификат о одобрењу за возило за транспорт одређене опасне робе када је то одређено законом којим се уређује транспорт опасне робе,

- сертификат о стручној оспособљености возача за транспорт опасне робе,
- посебне мере безбедности за врсту опасне робе која се превози, у складу са законом којим се регулише транспорт опасне робе.

У случају постојања сумње да на било који начин може доћи до угрожавања животне средине, живота и здравља људи и животиња, превозник опасне робе је дужан да обустави транспорт опасне робе и о томе извести јединицу (установу) за коју врши превоз, чим уочи неповољне околности [6].

Прималац опасне робе одговоран је за [6]:

- пријем опасне робе без одлагања,
- проверу моотрног возила и амбалаже након истовара и упоређивање примљене количине и врсте робе са подацима из одобрења за транспорт. У случају неслагања, обавештава надлежну јединицу,
- прање и чишћење возила за транспорт опасне робе.

Саветник за транспорт опасне робе је сертифициковано лице без чијег одобрења не сме да се реализује ниједан превоз опасне робе. Његови задаци приликом транспорта опасне робе су следећи [6]:

- праћење спровођења прописа којима се уређује ова област,
- вршење провере обучености учесника у транспорту опасне робе и давања савета за унапређење активности,
- израда извештаја у случају ванредног догађаја и извештавање надлежних,
- праћење активности транспорта опасне робе у јединици и израда годишњег извештаја на основу запажања,
- израда наређења за транспорт опасне робе,
- израђује посебно упутства за транспорт опасне робе за јединицу у којој је запослен.

3.2. Класификација и обележавање опасне робе

Највиши међународни споразум који уређује транспорт опасне робе је „Европски споразум о међународном друмском превозу опасних материја - ADR, потписан у Женеви 30.09.1957. године. У изворном стању, ADR је садржао 1500 UN бројева, подељених у 9 класа, а последња верзија ADR-а обухвата око 3500 UN бројева разврстаних у 13 класа (временом се повећао број опасних материја и измена првобитне поделе на класе довела би у питање примену прописаних правних аката, зато је задржана првобитна подела са

номинално 9 класа опасних материја, али практично постоји 13 различитих класа). Овим споразумом, који је прихватило 55 држава, обухваћено је око 50.000 различитих опасних материја, које су сврстане у следеће класе:

1. Класа 1: Експлозивне материје и предмети;
2. Класа 2: Гасови;
3. Класа 3: Запаљиве течности;
4. Класа 4.1: Запаљиве чврсте материје, самореагујуће материје и материје подложне полимеризацији и чврсти експлозиви умањене осетљивости;
5. Класа 4.2: Самозапаљиве материје;
6. Класа 4.3: Материје које у додиру са водом стварају запаљиве гасове;
7. Класа 5.1: Оксидирајуће материје;
8. Класа 5.2: Органски пероксиди;
9. Класа 6.1: Отровне материје;
10. Класа 6.2: Заразне материје;
11. Класа 7: Радиоактивни материјали;
12. Класа 8: Корозивне материје;
13. Класа 9: Остале опасне материје и предмети.

Наведене класе опасних роба карактеришу се основним хемијским и физичким особинама опасних материја сврстаних у одређену класу, али и њиховим карактеристикама опасности: врстом опасности, степеном опасности и зоном утицаја.

Класа 1

Особина ових материја је да под спољним дејством (удар или трење), може доћи до хемијског разлагања при којем се ослобађа велика количина енергије у облику топлоте или гасова. Према брзини којом се процес одвија, разликују се прогресивни (спорија реакција) и бризантни експлозиви (тренутна реакција). Има шест подкласа. У Класу 1 спадају експлозивне материје и предмети, односно [7]:

1. Експлозивне материје: чврсте или течне материје које хемијском реакцијом могу да развију гасове такве температуре, притиска и брзине да у окружењу доводе до разарања;
2. Пиротехничке материје: материје или смеше материја којима треба постићи ефекат у виду топлоте, светлости, звука, гаса, магле или дима или њихову комбинацију као резултат егзотермних хемијских реакција без детонације;

3. Експлозивни предмети: предмети који садрже једну или више експлозивних или пиротехничких материја.

Класа 2

Запаљиви гасови, гасови претворени у течност и гасови растворени под притиском. То су материје које имају критичну температуру нижу од 50 °C или на 50 °C притисак паре виши од 300 kPa (3 bar). Ова класа има три подкласе [7]:

1. Запаљиви гасови: гасови који се пале у контакту са извором паљења (гасови за заваривање, течни пропан-бутан гас, метан, етилен-оксид и предмети као што су упалачи за једнократну употребу);
2. Незапаљиви, неотровни гасови: гасови који нису ни запаљиви ни токсични, главна опасност код ових материја је притисак под којим се оне чувају у својим контејнерима (компримовани ваздух, кисеоник, азот, угљен-диоксид, аргон, хелијум, медицински гас ентонох);
3. Отровни гасови: гасови чијом инхалацијом могу настати смрт или тешка оштећења (хлор, сумпор-диоксид, сумпор-водоник, амонијак и читав низ пестицида).

Класа 3

Класи 3 припадају запаљиве течности или смеше течности које на температури од 50° C имају притисак паре нижи од 300 kPa (3 bara), а тачку паљења већу од 100° C. Ту спадају: бензин, дизел, растварачи, боје, разређивачи, алкохоли итд [7].

Класа 4

Класа 4 има три подкласе у којима су материје подељене на основу паљења [7]:

1. Запаљиве чврсте материје: чврсте материје које, кад су у сувом стању, могу лако да се запале у додиру са пламеном или варницом (сумпор, целулоид, нитроцелулоза, црвени фосфор и др.), али нису склоне самозапаљењу;
2. Материје склоне самозапаљењу: материје које се пале у додиру са ваздухом или водом без посредства других материја (бели и жути фосфор, цинкови алкили, отпаци, нитроцелулозни филмови, сирови памук, употребљене крпе и др.);
3. Материје које у додиру са водом стварају запаљиве гасове: материје које у додиру са водом развијају гасове који се пале у додиру са пламеном и варницом (натријум, калијум, калцијум, калцијум-карбид, алкални силициди и др.).

Класа 5

Ова класа има две подгрупе [7]:

1. Оксидирајуће материје: материје које, с обзиром на то да саме по себи нису запаљиве, могу, уз додавање кисеоника, проузроковати или поспешити запаљење друге материје, материјала или предмета који садрже те материје (хлориди, перфлорати, водени раствор водоник-супер-оксида, пероксиди алкалних метала и њихове смесе и др.);
2. Органски пероксиди: склони су егзотермном распадању на нормалним или повишеним температурама, оно се може убрзати загревањем, додиром са нечистоћама (нпр. киселинама, спојевима тешких метала, аминима), трењем или ударцем. Резултат распадања може бити развој штетних или запаљивих гасова или пара, а неки се могу распадати експлозивно. Треба избегавати додир органских пероксида с очима, неки органски пероксиди могу проузроковати озбиљна оштећења или разарање коже.

Класа 6

У Класу 6 спадају две врсте материја [7]:

1. Отровне материје: или упрошћено отрови, обухватају материје за које се зна, на основу искуства или у односу на резултате испитивања на животињама, да у сразмерно малим количинама током једног или краткотрајног деловања могу штетно деловати на људско здравље или проузроковати смрт удисањем, преко коже или кроз уста;
2. Инфективне материје: материје које су познате или се са сигурношћу очекује да садрже патогене материје, односно микроорганизме (укључујући бактерије, вирусе, рикетсије, паразите, гљивице) и друге агенсе који проузрокују обољења људи или животиња.

Класа 7

Радиоактивне материје су материје чија специфична активност прелази 74 Вq (бекерела), односно 0,02 mCi/g микрокирија по граму. Радиоактивност представља способност атомских језгара да се спонтано распадају, значи да је то процес у којем се језгро неког елемента распада избацујући алфа и бета честице или гама зраке [7].

Зрачење од алфа честица (језгра атома хелијума) слабе је продорности и опасно је само за горње слојеве ткива. У случају да продру у организам изазивају јаку јонизацију и врло су опасне по здравље [7].

Зрачење од бета честица (електрони) имају већи домет од алфа честица, али слабију моћ јонизације. Ове честице продиру кроз органско ткиво у дубину од неколико центиметара [7].

Гама зрачење се састоји од електромагнетних таласа врло кратких таласних дужина. Ови зраци продиру кроз тело, али је степен јонизације мањи од претходних (алфа и бета зрачења) [7].

Класа 8

У Класу 8 спадају материје и предмети који садрже материје које својим хемијским деловањем нападају површину коже или слузокоже с којима долазе у контакт или у случајном контакту могу оштетити или уништити остале предмете или превозна средства (корозивне материје). Овом класом су обухваћене и остале материје које стварају корозивну течност, само уз присуство воде, или испуштају корозивну пару или маглу у присуству влаге из ваздуха (сумпорна киселина, азотна киселина, бром, мравља киселина, натријум-хлороксид и др.) [7].

Класа 9

Остале опасне материје су материје које за време превоза представљају опасност, а које се не могу сврстати у класе од 1 до 8 (азбест, суви лед, магнетни материјали, литијумске батерије, отпадни материјали ван инфективних сл.). Опасним материјама сматрају се и сировине од којих се производе опасне материје и отпаци од којих су се производиле, ако имају особине тих материја [7].

3.3. Обележавање опасне робе и транспортних средстава

Поред класификације, веома је битно и обележавање опасне робе, у циљу давања инструкција лицима која ће вршити манипулацију на који начин се морају понашати према роби, и обележавање транспортних средстава која врше транспорт опасне робе, како би се осталим учесницима у саобраћају скренула пажња на потенцијалну опасност.

3.3.1. Обележавање опасне робе

Основно упутство за употребу ADR чини Табела А поглавља 3.2 која садржи списак опасне робе у нумеричком редоследу према UN бројевима. Првих шест колона (1, 2, 3а, 3б, 4 и 5) дефинише [8]:

- UN број;

То је четвороцифрени број који је јединствен за сваку робу и када јој је додељен не мења се без обзира на видове транспорта. Може се десити да једна опасна роба буде на листи опасне робе за један вид транспорта, а да за други вид не буде. Опасне робе чији су UN бројеви мањи од 1000, припадају Класи 1, док се за остале опасне робе не може закључити којој класи припадају само на основу UN броја.

- Назив и опис;

Назив сваке материје или групе материја, које су према критеријумима ADR-а разврстане у опасне робе, исписује се великим словима.

- Ознаку класе опасности;

Представља ознаку класе у коју је сврстана опасна роба према критеријумима ADR-а (1, 2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 7, 8, 9).

- Класификациони код;

Представља поделу опасних роба у склопу сваке класе а чини га комбинација бројчаних и/или словних ознака. У ADR-у је наведен класификациони код сваке класе опасних роба осим Класе 7, које немају класификациони код. Класификациони код опасне робе Класе 1, чине бројчана ознака разреда опасности (од 1.1. до 1.6.) и словна ознака групе компатибилности.

- Ознаку амбалажне групе;

Садржи римске бројеве (I, II и III) који су додељени опасној роби на основу њеног степена опасности:

1. амбалажна група I за робе са високом опасношћу;
2. амбалажна група II за робе са средњом опасношћу;
3. амбалажна група III за робе са малом опасношћу;

За одређене класе опасне робе није предвиђена подела по овом критеријуму (класе 1, 2, 5.2 и 7).

- Ознаку опасности;

Она садржи број листица опасности које се постављају на коадну робу и на возила према захтевима и условима који су дефинисани АDR-ом. Облик, димензије, боја и садржај листица опасности су одређени АDR-ом.

Поред ових ознака, у табели су дефинисане ограничене и изузете количине, упутство за паковање, посебне одредбе за паковање, одредбе за заједничко паковање, упутства и посебне одредбе.

3.3.2. Обележавање возила за транспорт опасне робе

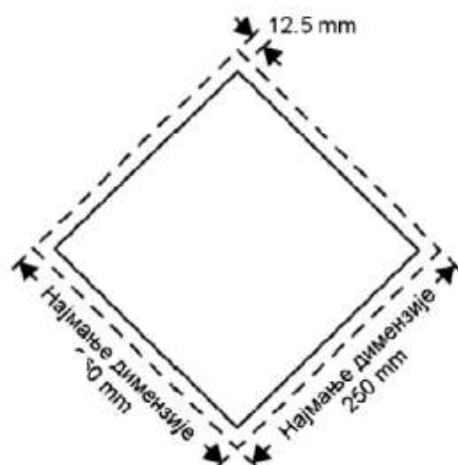
За обележавање возила која врше транспорт опасне робе користе се листице опасност и табеле за обележавање возила.

Велике листице опасности се постављају на спољну површину возила са бочних страна и са задње стране, док се код контејнера постављају на све четири стране. Постављање листица опасности зависи од начина превоза и конкретне опасне материје у возилу. Уколико се у цистерни превози различита опасна роба у различитим одељцима, сваки одељак се означава великом ознаком опасности, а једна од ознака се ставља на задњу страну возила. У случају да је потребно ставити више великих ознака опасности на исти одељак, оне се стављају једна близу друге. Велике листице опасности морају да одговарају бројевима листица опасности који се захтевају у табели А поглавља 3.2 АДР (Слика 2), односно да одговарају у погледу боје, симбола и општег облика.



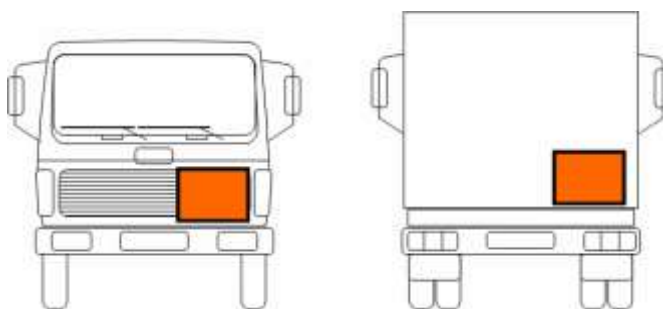
Слика 2. Листице опасности за транспорт опасне робе

Димензија су минимум 250x250mm (Слика 3), морају бити израђене од материјала који је дуготрајан и водоотпоран [9].



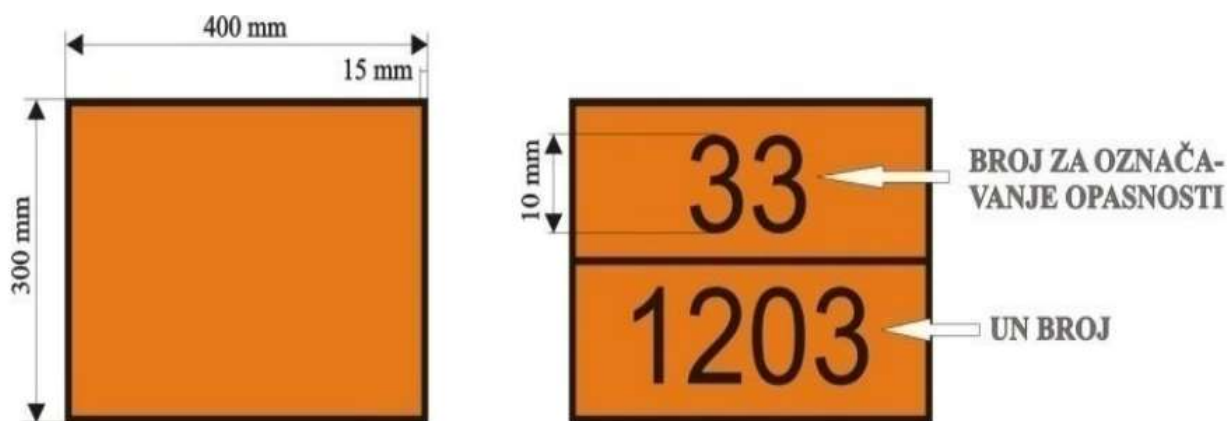
Слика 3. Димензије листице опасности

Возила морају бити означена и наранџастим таблама, и то са по једном на предњој и задњој страни возила (Слика 4).



Слика 4. Обележавање возила наранџастим таблама

Димензије ових табли су такође одређене, а код табли које се попуњавају одређене су и димензије и значење цифара које се у њих уписују (Слика 5). Табла је подељена на два дела, горњи у који се уписује број за означавање опасности, и доњи, у који се уписује UN број. UN број се чита из 1. колоне табеле А поглавља 3.2 ADR, а број за означавање опасности из 20. колоне [9].



Слика 5. Димензије наранџасте табле за обележавање возила и ознаке на њој

Значења цифара у броју за означавање опасности су следећа:

Прва цифра означава главну опасност [9]:

- 2 – сабијени гас,
- 3 – запаљиве течне материје,
- 4 – запаљиве чврсте материје,
- 5 – оксидирајуће материје или органски пероксиди,
- 6 – токсичне материје,
- 7 – корозивне материје.

Друга и трећа цифра означавају додатну опасност [9]:

- 0 – без додатне опасности,
- 1 – експлозивно,
- 2 – издвајање гаса,
- 3 – запаљивост,
- 5 – запаљива оксидирајућа средства,
- 6 – токсичност,
- 8 – корозивност,
- 9 – опасност од енергичне реакције услед разлагања или полимеризације.

Ако се на листици налазе два иста броја, то означава веома изражену опасност, а уколико се испред броја налази „Х“, то значи да та материја на опасан начин реагује са водом [9].

4. НОРМАТИВНА РЕГУЛАТИВА У ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА ОПАСНЕ РОБЕ

Транспорт опасне робе са собом носи много ризика и захтева темељне припреме свих учесника у транспорту, стога је веома битно да свака активност буде прецизно дефинисана и нормативно уређена. Основни правни акт који дефинише транспорт опасне робе у Републици Србији је Закон о транспорту опасне робе. У даљем тексту приказано је како је нормативно уређен транспорт опасне робе у Републици Србији, са посебним освртом на уређење транспорта опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије.

4.1. Нормативна регулатива у Републици Србији

Међународни прописи о транспорту опасне робе дефинисани су на основу препорука Уједињених нација. Транспорт опасне робе уређен је по гранама саобраћаја, па тако постоје следећи споразуми:

1. ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road);
2. RID (Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail);
3. ICAO-TI (International Civil Aviation Organization – Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air);
4. IMDG-CODE (International Maritime Dangerous Goods - Code);
5. ADN (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways).

У складу са овим међународним споразумима, израђен је и Закон о транспорту опасне робе, који се поштује у Републици Србији. Овај закон дефинише услове за обављање међународног и унутрашњег транспорта опасне робе у друмском, железничком и унутрашњем водном саобраћају у оквиру граница Републике Србије, дефинише захтеве везане за амбалажу, судове под притиском, услове за одређивање тела за испитивање и контролу амбалаже и возла која се користе за транспорт опасне робе, налаже услове које морају испунити учесници у транспорту опасне робе, надлежности државних органа и друга питања која се односе на транспорт опасне робе.

Поред уводних одредби, овај закон саджи седам поглавља, а структура му је следећа:

1. Прво поглавље дефинише основна правила за транспорт опасне робе, садржај и орган који издаје дозволе за транспорт опасне робе, категорије опасности од настајање последица у транспорту опасне робе и основне захтеве за безбедност;
2. У другом поглављу закона предочени су захтеви везани за амбалажу и покретну опрему под притиском (цистерне) као и начин оцењивање усаглашености ових захтева;
3. Треће поглавље именује учеснике у транспорту опасне робе и дефинише њихове обавезе. У овом поглављу је дефинисана обука учесника у транспорту опасне робе у друмском саобраћају и у унутрашњем водном саобраћају;
4. Четврто поглавље се односи на посебне одредбе о транспорту опасне робе у друмском саобраћају, односно на усаглашеност возила са захтевима, сертификат о стручној оспособљености за возача возила за транспорт опасне робе, поступање у случају саобраћајне незгоде, вршење контроле транспорта опасне робе на путу и поступке службеника царине и граничне контроле у контроли транспорта опасне робе. Исте одредбе су дефинисане и за транспорт опасне робе железницом и унутрашњим пловним путевима;
5. Пето поглавље дефинише надзор и контролу транспорта опасне робе, права, дужности и овлашћења инспектора приликом извршења инспекцијског надзора;
6. Шести део уређује казнене одредбе, дефинише висине новчане казне и друге последице по прекршиоца;
7. Седмо поглавље се односи на прелазне и завршне одредбе овог Закона.

Из Закона о транспорту опасне робе проистекло је више правилника који детаљније уређују безбедносне и техничке аспекте, а најважнији су:

1. Правилник о начину транспорта опасне робе у друмском саобраћају (овај правилник уређује област транспорта опасне робе у друмском саобраћају, дефинише стандарде за амбалажу и обезбеђење, обележавање возила, поступке у случају незгода и документацију која је обавезна за возило);
2. Правилник о начину транспорта опасне робе у водном саобраћају (дефинише транспорт опасне робе у водном саобраћају и поступање учесника транспорта у случају ванредних догађаја и начин обележавање бродова за транспорт опасне робе);
3. Правилник о начину транспорта и обавезном оперативном праћењу опасног терета у железничком саобраћају (овај правилник уређује област транспорта опасне робе

железницом, поступке у учесника у транспорту у случају ванредног догађаја и оперативно праћење опасног терета);

4. Правилник о програму и начину полагања испита за стручну оспособљеност за обављање послова возача возила за транспорт опасног терета, саставу комисије и износу трошкова полагања испита (овим подзаконским актом дефинисан је програм и начин полагања испита за обављање послова возача возила за транспорт опасне робе, састав комисије која врши проверу знања и трошкове испита).

4.2. Нормативна регулатива у Министарству одбране и Војсци Србије

Транспорт у Министарству одбране и Војсци Србије регулисан је следећим правилиницима, који су донети у складу са Законом о одбрани, Законом о безбедности саобраћаја на путевима и Законом о транспорту опасне робе:

1. Правилник о транспорту људи и средстава у Министарству одбране и Војсци Србије;
2. Правилник о регистрацији војних возила;
3. Правилник о обуци и полагању возачког испита војних лица за возаче моторних возила;
4. Правилник о коришћењу војних возила у Министарству одбране и Војсци Србије;
5. Правилник о транспорту опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије.

Како би се ови правилници што боље разумели и спроводили, израђен је одређен број упутстава и других докумената на нижем нивоу чиме је значајно унапређено нормативно уређење рада Саобраћајне службе и створени су услови за даље унапређење.

Транспорт опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије уређен је пре свега Правилником о транспорту опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије који дефинише транспорт опасне робе који се обавља превозним средствима Министарству одбране и Војсци Србије, као и војних снага других држава и организација које према посебним одредбама користе саобраћајну инфраструктуру Републике Србије. Правилник је израђен кроз 11 поглавља [6]:

1. Прво поглавље садржи уводне одредбе и дефинише основне појмове који су везани за транспорт опасне робе;
2. Друго поглавље се односи на организацију транспорта опасне робе;
3. Треће поглавље именује учеснике у транспорту опасне робе и дефинише њихове обавезе;

4. Четврто поглавље се односи на управљање транспортом опасне робе;
5. Пето поглавље уређује област паковања и обезбеђивања опасне робе за транспорт и дефинише захтеве усмерене ка амбалажи за транспорт опасне робе;
6. Шесто поглавље се односи на транспорт опасне робе у друмском саобраћају, дефинишу се задаци одговорних лица и захтеви које треба да испуне возила и утоварно-истоварна места;
7. Седмо поглавље дефинише транспорт опасне робе железницом;
8. Осмо поглавље уређује транспорт опасне робе у водном саобраћају, начин припреме пловног средства за транспорт опасне робе и начин поступања са убојним средствима на пловилима;
9. Девето поглавље садржи упутства за транспорт опасне робе ваздушним путем;
10. Десето поглавље дефинише обавезе лица задужених за стручни надзор над транспортом опасне робе у Министарству обране и Војсци Србије;
11. Једанаесто поглавље се односи на прелазне и завршне одредбе.

5. ИЗБОР ОПТИМАЛНЕ РУТЕ У ТРАНСПОРТНОЈ МРЕЖИ

Проблем који се често јавља код транспорта опасне робе у Министарству обране и Војсци Србије је тај што се планирање и транспорт опасне робе врши на основу искуства, односно не користи се научни приступ код планирања руте. У овом раду је приказан један начин избора руте за превоз опасне робе на основу модела транспортних мрежа, узимајући у обзир одређене критеријуме значајне за превоз опасне робе.

Приликом кретања кроз мрежу, често долази до проблема изналажења оптималног пута дуж кога се треба кретати. У зависности од контекста саобраћајног проблема оптимални пут може да буде најкраћи, најдужи, најбржи пут, пут са највећим капацитетом, најјефтинији, најпоузданији, најбезбеднији пут итд. Гране у мрежи су окарактерисане „дужином”, коју треба схватити у најопштијем смислу. Под „дужином” гране може да се подразумева дужина, време путовања, транспортни трошкови, поузданост, безбедност итд. Најчешће се подразумева да су „дужине” свих грана у мрежи детерминистичке величине. У случајевима када су „дужине” грана случајне променљиве, јавља се проблем изналажења оптималног пута у стохастичкој мрежи. У одређеним ситуацијама приликом одређивања пута сагледава се више променљивих, као што су на пример трошкови и време путовања. Другим речима у неким ситуацијама пут којим треба да се креће кроз мрежу треба одредити на основу два или више критеријума (вишекритеријумски проблем одређивања најбољег пута у мрежи) [10].

5.1. Модел за оптимизацију транспорта опасне робе

Транспорт опасне робе представља врсту транспорта за коју се везују највећи ризици и највећа потенцијална величина штете по становништво и животну средину. Због тога неопходно је предузети одређене мере како би се утицало на смањење величине ризика, односно спровести низ процедура и поседовати податке о карактеристикама опасне робе, броју акцидентних ситуација у претходном периоду, величини последица по становништво и животну средину, као и капацитетима служби за реаговање у случају настанка акцидентне ситуације.

Када се говори о оптимизацији транспорта, процес оптимизације своди се на решавање проблема који су засновани на основним карактеристикама рутинг проблема, односно проблема одређивања оптималне руте, путање кретања транспортних средстава која извршавају задатак, у смислу минимизације пређеног пута, времена путовања, трошкова услуге или других вредности. Како се ради о транспорту опасне робе, циљ оптимизације је

минимизација ризика, која ће бити извршена избором руте на основу унапред одређених критеријума [10].

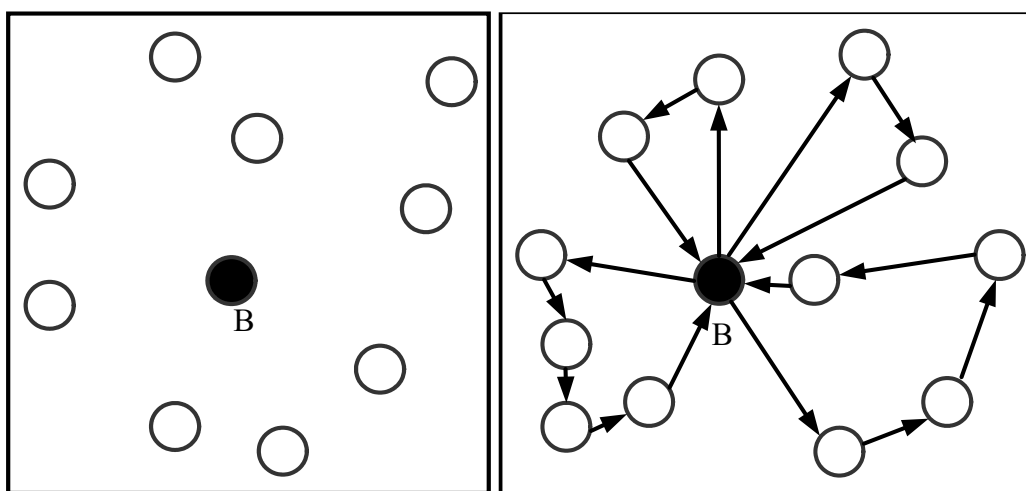
Руте се у складу са расположивим временом, пројектују употребом хеуристичких или егзактних алгоритама (модела). Хеуристичким алгоритмима се релативно брзо долази до прихватљивих решења, док егзактни модели дају оптимално решење, али захтевају и веће временске губитке.

Почетна фаза управљања ризиком од покретних извора опасности, уједно и најважнији корак за ефикасно управљање ризиком од настанка акцидентне ситуације, је избор руте за кретање возила којима се врши транспорт опасне робе.

У даљем тексту су обрађени неки од модела транспортних мрежа за пројектовање рута саобраћајних средстава који се могу користити за оптимизацију транспорта опасне робе.

5.2.1. Стандардни проблем рутинга транспортних средстава

Нека у оквиру посматраног проблема постоји n чворова у којима се јавља V_i ($i=1,2,...,n$) захтева за превозом. Саобраћајна средстава стационирана су у једној тачки B (база). Сва саобраћајна средстава су истог капацитета V и сва морају, при опслуживању, започети и завршити свој пут у тачки B (Слика 6). Примери оваквог проблема су бројни: скупљање смећа, поште, чишћење и прање улица, развожење новина, развожење хлеба, млека, разношење поштанских пакета и сл [11].



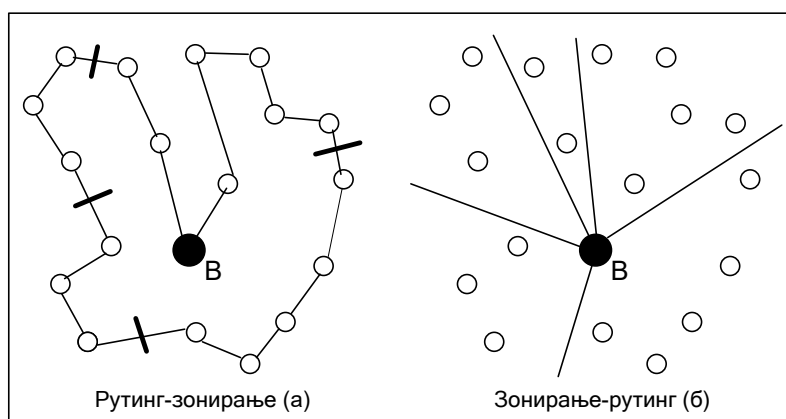
Слика 6. Чворови који захтевају услугу (лево) и руте саобраћајних средстава која врше услугу (десно)

Развијен је велики број алгоритама за решавање стандардног проблема рутинга саобраћајних средстава, а два основна приступа су [11]:

- рутинг-зонирање и
- зонирање-рутинг.

Приступ "рутинг-зонирање" подразумева да се најпре пројектује само једна гигантска рута која пролази кроз све чворове који треба да буду опслужени. Приликом пројектовања ове руте не води се рачуна о оперативним ограничењима присутним у разматраном проблему (капацитет саобраћајних средстава, максимална могућа дужина руте итд.). У другом кораку, гигантска рута се подели на мање руте које се одређују уз услов да сва оперативна ограничења буду задовољена [11].

Приступ "зонирање-рутинг" подразумева да се најпре цела мрежа подели на зоне, а потом у оквиру сваке зоне посебно решава рутинг проблем (Слика 7).



Слика 7. Приступи "рутинг-зонирање" и "зонирање-рутинг"

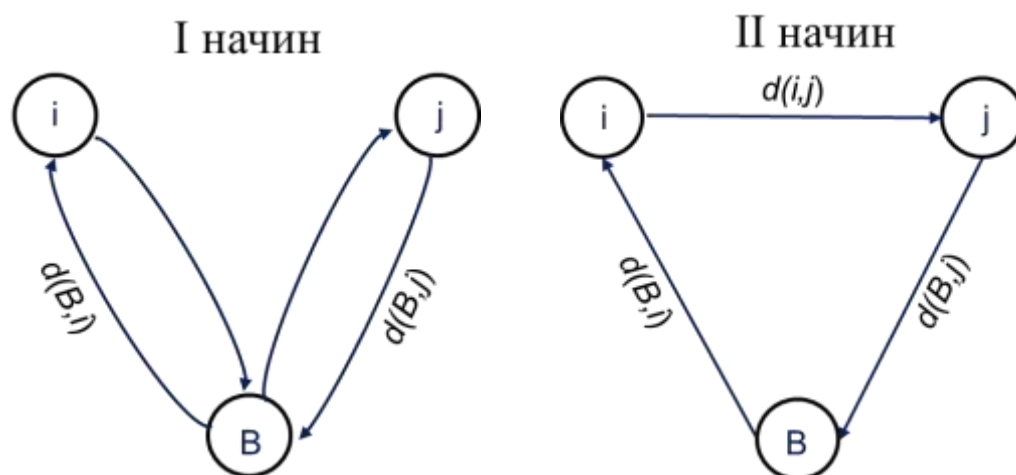
Проблем рутинга се знатно усложњава када у мрежи постоји више база саобраћајних средстава, када опслугу врше саобраћајна средства различитих капацитета, као и у случајевима када се у мрежи јављају стохастички захтеви за опслужом.

5.2.2. Clarke-Wright-ов алгоритам "уштеда" за пројектовање саобраћајних рута

У мноштву модела који се користе за решавање рутинг проблема посебно је интересантан, с обзиром на специфичност војног транспорта, тзв. Clarke-Wright-ов алгоритам „уштеда“. Основна идеја Clarke-Wright-овог алгоритма заснована је на уштеди у пређеном путу, времену путовања, утрошку горива, укупним транспортним трошковима, која се остварује при опслуживању чворова транспортне мреже различитим путањама транспортних средстава.

Ако је B (база) чвор из кога саобраћајно средство полази и у који се враћа на крају опслуживања, онда било који пар чворова (i, j) то саобраћајно средство може да опслужи на два начина (Слика 8) [12]:

- да крене из базе, опслужи чвор i , врати се у базу, опслужи чвор j и поново се врати у базу (I начин);
- да крене из базе, опслужи чвор i , опслужи чвор j и врати се у базу (II начин).



Слика 8. Прорачун "уштеда"

Величина $d(i, j)$ представља најкраћи пут између чворова i и j или најмање време транспорта од чвора i до чвора j или најмању количину горива утрошену на путу од чвора i до чвора j , зависно од суштине конкретног проблема.

Под претпоставком да је $d(i, j) = d(j, i)$ за $\forall(i, j)$, укупан пут који саобраћајно средство пређе у првом случају износи $2d(B, i) + 2d(B, j)$, а у другом случају $d(B, i) + d(i, j) + d(B, j)$.

Уштеда $S(i, j)$ коју саобраћајно средство оствари крећући се као у другом случају износи:

$$S(i, j) = 2d(B, i) + 2d(B, j) - (d(B, i) + d(i, j) + d(B, j)), \text{ односно}$$

$$S(i, j) = d(B, i) + d(B, j) - d(i, j) \quad (1)$$

Према томе, што је „уштеда“ $S(i, j)$ већа тим је боље чворове i и j спојити у једну руту. При томе треба водити рачуна да се не прекораче постојећа оперативна ограничења (капацитет саобраћајног средства и сл.).

Clarke-Wrightov-ов алгоритам „уштеда“ за пројектовање рута саобраћајних средстава састоји се од следећих алгоритамских корака [12]:

Корак 1: Израчунати „уштеде“ $S(i,j) = d(B,i) + d(B,j) - d(i,j)$, за сваки пар (i,j) чворова које треба опслужити.

Корак 2: Извршити рангирање свих „уштеда“ и поређати их по величини. Направити листу уштеда која започиње са највећом „уштедом“.

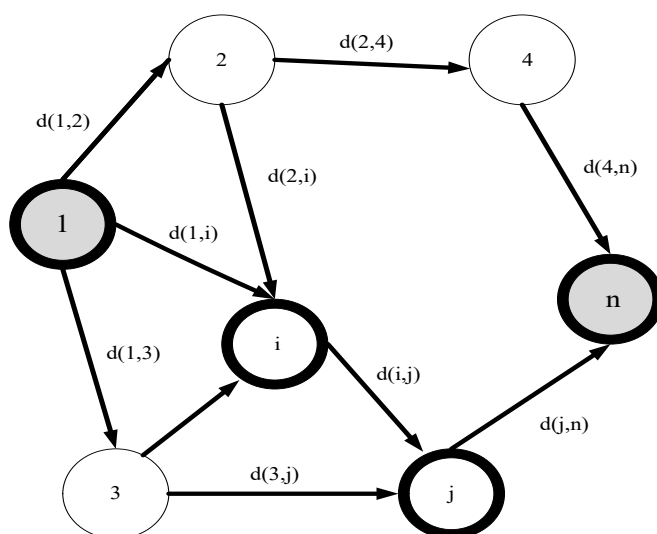
Корак 3: При разматрању „уштеде“ $S(i,j)$ одговарајућу грану (i,j) укључити у делимичну руту уколико се при томе не крше оперативна ограничења и уколико:

- ни чвор i ни чвор j нису били укључени ни у једну делимичну руту;
- је један од чворова i или j већ укључен у неку постојећу делимичну руту и уколико тај чвор није унутрашњи чвор у рути;
- су оба чвора i и j укључена у две различите делимичне руте и ниједан од тих чворова није унутрашњи у тим рутама у ком случају је могуће спојити делимичне руте у једну.

Корак 4: Када је листа „уштеда“ потрошена до краја завршити са алгоритмом.

5.2.3. Генерички алгоритам за изналажење најкраћих путева од једног чвора до свих осталих чворова у мрежи

Пример транспортне мреже $G=(N, A)$ приказан је на Слици 9. Потребно је одредити најкраће путеве од почетног чвора (чвор 1) до свих осталих чворова мреже. Свакој грани $(i, j) \in A$ придружује се одговарајућа дужина $d(i, j)$. Такође, сваком чвору $i \in N$ придружена је ознака d_i која представља дужину најкраћег познатог пута од чвора 1 до чвора i .



Слика 9. Мрежа у којој треба утврдити најкраће путеве од чвора 1 до свих осталих чворова

Током последњих пет деценија развијен је већи број алгоритама за изналажење најкраћих путева од једног чвора до свих осталих чворова у мрежи. Сви ови алгоритми, у суштини, непрестано мењају вредности елемената вектора $(d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$. Bertsekas (1998) је предложио генерички алгоритам за изналажење најкраћих путева од једног чвора до свих осталих чворова у мрежи, указавши при томе да сви остали до тада развијени алгоритми представљају специјалне случајеве генеричког алгоритма [7].

У оквиру генеричког алгоритма који је предложио Bertsekas (1998) се тзв. листа чворова-кандидата V и вредности вектора $(d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$ непрестано модификују. На почетку процеса изналажења најкраћих путева је: $V = \{1\}$, $d_1 = 0$, $d_i = \infty$ и $\forall i \neq 1$. Генерички алгоритам се завршава када је скуп V празан скуп.

Типична итерација у генеричком алгоритму гласи [10]: Одстранити чвор i из скупа чворова-кандидата V , за сваку грану $(i, j) \in A$ која излази из чвора i за коју је $d_j > d_i + d(i, j)$ модификовати вредност величине d_j на следећи начин: $d_j = d_i + d(i, j)$. Укључити чворове j у скуп чворова-кандидата V у случају да још увек нису укључени у овај скуп.

3.2.4. Алгоритам Дијкстре

Дијкстра је развио један од најефикаснијих и највише коришћених алгоритама за одређивање најкраћих путева од једног чвора до свих осталих чворова у мрежи. У Дијкстрином алгоритму се из листе кандидата V у свакој итерацији уклања чвор i коме одговара најмања вредност дужине најкраћег познатог пута.

У алгоритму се, пре свега, претпоставља да су дужине свих грана $d(i, j)$ у мрежи ненегативне. Алгоритам Дијкстре се примењује како на мреже са симетричним, тако и на мреже са несиметричним растојањима ($d(i, j) \neq d(j, i)$). Сваки чвор i у мрежи означава се са две ознаке:

- d_{ai} - дужина најкраћег пута од чвора a до чвора i откривена до тренутка у коме се посматра транспортна мрежа,
- q_i - чвор који се налази испред чвора i на најкраћем путу од чвора a до чвора i који је откривен до тренутка у коме се посматра транспортна мрежа (чвор-претходник чвору i).

Алгоритам Дијкстре састоји се од следећих пет корака [10]:

Корак 1: процес започиње од чвора a . Пошто је дужина најкраћег пута од чвора a до чвора a једнака 0, то је $d_{aa} = 0$. Раније је назначено да се чвор-претходник чвору a означава симболом $+$, те је $q_a = +$. Пошто су дужине свих најкраћих путева од чвора a до свих осталих чворова $i \neq a$ за сада неистражене ставља се привремено $d_{ai} = \infty$ за $i \neq a$. Пошто су i чворови - претходници чворовима $i \neq a$ на најкраћим путевима непознати означава се $q_i = -$ за све $i \neq a$. Једини чвор који је тренутно у затвореном стању је чвор a . Због тога се пише да је $c = a$.

Корак 2: да би неке од привремених ознака трансформисали у сталне испитају се све гране (c, i) које излазе из последњег чвора који је у затвореном стању (чвор c). Уколико је и чвор i у затвореном стању прелази се на испитивање следећег чвора. Уколико је чвор i у отвореном стању, његова прву ознаку d_{ai} добија се на основу релације:

$$d_{ai} = \min\{d_{ai}, d_{ac} + d(c, i)\} \quad (2)$$

при чему је на левој страни ове релације нова ознака чвора i . У складу са тим, d_{ai} које фигурише на десној страни релације представља стару ознаку чвора i .

Корак 3: да би се одредило који је следећи чвор који ће из отвореног прећи у затворено стање, упоређују се величине d_{ai} свих чворова који се налазе у отвореном стању. Бира се чвор са најмањом вредношћу величине d_{ai} . Нека је то неки чвор j . Чвор j прелази из отвореног у затворено стање, с обзиром да не постоји пут од a до j краћи од d_{aj} . Пут преко било ког другог чвора био би дужи.

Корак 4: Констатује се да је следећи чвор који из отвореног прелази у затворено стање чвор j . Одређује се чвор - претходник чвору j , на најкраћем путу који води од чвора a до чвора j . Испитују се дужине свих грана (i, j) које воде од чворова који се налазе у затвореном стању до чвора j све док се не утврди да је испуњена релација:

$$d_{aj} - d(i, j) = d_{ai} \quad (3)$$

Нека је ова релација испуњена за неки чвор t . Ово значи да је чвор t , чвор претходник чвору j на најкраћем путу који води од чвора a до чвора j . Значи да се може написати даје $q_j = t$.

Корак 5: чвор j се налази у затвореном стању. Уколико се сви чворови у мрежи налазе у затвореном стању, тада је завршен поступак за изналажење најкраћих путева. Уколико постоје још неки чворови који се налазе у отвореном стању, тада се процес враћа на корак 2.

Описани алгоритам може се користити и за изналажење најкраћег пута између два специфична чвора. У овом случају алгоритам се завршава када се оба чвора нађу у затвореном стању. Изложени алгоритам примењује се за изналажење најкраћих путева како у неоријентисаним, тако и у оријентисаним и мешовитим мрежама.

5.2.5. Алгоритам за изналажење најкраћих путева између свих парова чворова

При решавању практичних транспортних проблема, често је неопходно израчунати најкраће путеве између свих парова чворова у транспортној мрежи. Овај проблем могуће је решити и уз помоћ алгоритма за изналажење најкраћих путева између једног чвора и свих осталих чворова мреже. Уколико у мрежи има n чворова, неопходно је n пута применити алгоритам Дијкстре, узимајући сваки пут други чвор за почетни чвор. На овај начин после n пролаза кроз алгоритам Дијкстре биће израчунати најкраћи путеви између свих парова чворова транспортне мреже. Треба напоменути да се алгоритам Дијкстре ређе користи за утврђивање најкраћих путева између свих парова чворова, с обзиром да за решавање овог проблема постоје посебни алгоритми. Један од најпознатијих је алгоритам Флојда.

Нека се задатак састоји у изналажењу најкраћих путева између свих чворова транспортне мреже $G = (N, A)$. Сви чворови мреже се означавају позитивним целим бројевима $1, 2, \dots, n$. У разматрање се уводи тзв. почетна матрица дужина најкраћих путева D_0 и почетна матрицу чворова-претходника Q_0 [10].

Са d_{ij}^k означава се дужина најкраћег пута од чвора i до чвора j који је откривен у k -том пролазу кроз алгоритам а са d_{ij}^k чвор претходник чвору j на најкраћем путу од чвора i који је такође откривен у k -том пролазу. Елементи d_{ij}^k матрице D_0 дефинисани су на следећи начин [10]:

Ако између чвора i и чвора j постоји грана, дужина најкраћег пута d_{ij}^0 између ових чворова једнака је дужини d_{ij} гране (i, j) која их спаја. При томе, ако између чвора i и чвора j постоји више грана, дужина најкраћег пута d_{ij}^0 једнака је дужини најкраће гране, тј.:

$$d_{ij}^0 = \min\{d_1(i, j), d_2(i, j), \dots, d_m(i, j)\} \quad (4)$$

где је m број грана између чвора i и чвора j .

Јасно је да је $d_{ij}^0 = 0$ за $i = j$. У осталим случајевима када између чвора i и чвора j не постоји грана, у почетку не постоји информација о дужини најкраћег пута између ова два чвора, те се третирају као да су бесконачно удаљени један од другог, тј. за такве парове чворова је:

$$d_{ij}^0 = \infty$$

Елементи d_{ij}^0 почетне матрице чворова-претходника Q_0 дефинисани су на следећи начин:

На почетку је $d_{ij}^0 = i$, за $i \neq j$, односно за сваки пар чворова (i, j) , при чему је $i \neq j$, чвор-претходник чвору j на најкраћем путу који води од чвора i до чвора j , управо чвор i .

Пошто су дефинисани елементи матрица D_0 и Q_0 , може се представити Флојдов алгоритам, који се састоји из следећих корака [10]:

Корак 1: Нека је $k = 1$.

Корак 2: Елементе d_{ij}^k матрице дужина најкраћих путева откривених завршно са k -тим пролазом кроз алгоритам D_k , израчунавају се помоћу релације:

$$d_{ij}^k = \min\{d_{ij}^{k-1}, d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1}\} \quad (5)$$

Корак 3: Елементи d_{ij}^k матрице Q_k чворова-претходника откривених завршно са k -тим пролазом кроз алгоритам израчунавају се као:

$$q_{ij}^k = \begin{cases} d_{kj}^{k-1}, & \text{за } d_{ij}^k \neq d_{ij}^{k-1} \\ d_{ij}^{k-1}, & \text{у осталим случајевима.} \end{cases} \quad (6)$$

Корак 4: Ако је $k = n$ завршити са алгоритмом. Ако је $k < n$, повећати k за 1, тј. ставити да је $k = k + 1$ и вратити се на корак 2.

У кораку број 2 сваки пут када се пролази кроз алгоритам испитује се да ли између чворова i и j постоји краћи пут од пута који је већ познат и који је утврђен у једном од ранијих пролаза кроз алгоритам. Уколико је утврђено да је $d_{ij}^k \neq d_{ij}^{k-1}$, тј. Уколико се утврди у k -том пролазу кроз алгоритам да је дужина најкраћег пута d_{ij}^k између чворова i и j мања од дужине најкраћег пута d_{ij}^{k-1} који је био познат до k -тог пролаза кроз алгоритам, мора се променити чвор-претходник чвору j . Пошто је дужина најкраћег пута $d_{ij}^k = d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1}$, очигледно је да у овом случају нови чвор-претходник чвору j , чвор k , због чега је $q_{ij}^k = q_{kj}^{k-1}$ [10].

Ово се управо ради у трећем алгоритамском кораку. Јасно је да се чвор-претходник чвору j не мења, у случају када се по завршетку корака број 2 утврди да није установљено постојање новог најкраћег пута. Значи да је:

$$q_{ij}^k = q_{ij}^{k-1} \text{ када је } d_{ij}^k = d_{ij}^{k-1}. \quad (7)$$

Када се n пута прође кроз алгоритам (n је број чворова у транспортној мрежи) елементи d_{ij}^{k-1} матрице D_n представљаће дужине најкраћих путева између парова чворова (i, j) , док ће на основу елемената d_{ij}^n матрице Q_n бити могуће установити који се све чворови налазе на путу најкраће дужине који води од чвора i до чвора j .

6. ПРЕДЛОГ МОДЕЛА ЗА МИНИМИЗИРАЊЕ РИЗИКА ПРИ ТРАНСПОРТУ ОПАСНЕ РОБЕ

За решавање проблема транспорта опасне робе у насељеном месту у овом раду биће примењен модел Дијкстре. Основне предности Дијкстриног алгоритма за пројектовање рута су следећи:

- ово је један од најпознатијих и најчешће примењених алгоритама транспортних мрежа;
- веома је једноставан за коришћење;
- примењив је за решавање бројних практичних проблема;
- нашао је примену и у другим наукама што говори о његовој адаптивности и универзалности;
- коришћен је у великом броју научних радова за решавање сличних проблема [13].

Поступак одређивања вредности грана у транспортној мрежи објашњен је у даљем раду, а заснива се на оцењивању грана по претходно одређеним критеријумима, о чијој важности се изјаснила група експерата.

6.1. Модел за конструкцију оптималне руте

Поступак одређивања оптималне руте за транспорт опасне робе у насељеном месту приказан је на Слици 10.



Слика 10. Шематски приказ поступка одређивања оптималне руте

У првом кораку спроведена је анкета како би се извршио избор критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе. Анкета је садржала два дела, први за оцену компетенције експерата, а други за прикупљање ставова о важности одређених критеријума.

Други корак намењен је потврђивању валидности ставова испитаника о критеријумима за одређивање оптималне руте. У раду је коришћена упрошћена метода оцене компетенције експерата која се заснива на четири критеријума која вреднују стручност испитаника. Сваки испитаник је добио оцену компетенције која је утицала на важност одговора везаних за критеријуме који ће бити коришћени у оптимизацији транспорта опасне робе.

Након одређивања коефицијента компетенције за сваког испитаника њихове оцене критеријума се множе са датим коефицијентом. Одређује се средња вредност сваког критеријума која представља оцену тог критеријума. Методом Адитивне нормализације из средњих вредности добијају су тежински коефицијенти ових критеријума, самим тим и њихов ранг.

У четвртном кораку врши се избор модела за оптимизацију транспорта. Због својих предности, од пет модела описаних у раду, изабран је Дијкстрин алгоритам.

Пре почетка тестирања изабраног модела дефинисан је транспортни задатак и формирана је транспортна мрежа. Задатак је представљао транспорт опасне робе од касарне „Дедиње”, у Београду, до Калемегданске терасе, у циљу реализације Почасне артиљеријске палбе. Транспортна мрежа је израђена у складу са комуникацијама које спајају ове две локације. У првом прорачуну одређена је оптимална рута за транспорт опасне робе, узимајући у обзир претходно дефинисане критеријуме. Другим прорачуном је одређена рута са најкраћим растојањем, са циљем да се ове две руте упореде.

У последњем кораку извршена је анализа добијених резултата. Прорачунате су вредности ризика и пређеног пута за обе варијанте. Поређењем ових вредности дошло се до одређених закључака и приказано је колико је важно да се приликом транспорта опасне робе користе руте са минималним ризиком, а не минималним пређеним путем.

6.2. Избор критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе

Сваки транспорт опасног терета праћен је извесним ризиком од акцидентног догађаја, нежељене ситуације која може довести у опасност здравље и живот људи и угрозити животну средину. Спектар последица изливања-испадања опасног терета из транспортног суда или паковања је веома широк, од најфаталнијих које подразумевају смрт и обољевање људи, загађивање околине и уништавање природних богатстава, до оних мање значајних, материјалних, као што су уништавање техничких средства, путне инфраструктуре и других објеката. Постојање наведених ризика захтева од свих учесника велику одговорност и познавање одређених правила. Уколико се предузму све потребне мере и активности, ризик од настанка акцидентног догађаја, и величина његових евентуалних последица, се могу значајно смањити [14].

Једна од најважнијих мера је избор оптималне руте за транспорт опасног терета, што подразумева изналажење трасе на којој је најмањи ризик од појаве акцидентног догађаја и на којој би последице по живи свет и материјална добра биле најмање. Веома важна

особина опасног терета, поред њених врста и степена опасности, јесте зона утицаја опасног терета, која представља радијус од места истицања-испадања из транспортног суда, односно товарног простора, до границе негативног утицаја опасног терета. Фактори који утичу на ширину утицајне зоне опасног терета су [15]:

- Врста опасног терета;
- Количина опасног терета;
- Временски услови;
- Карактеристике терена.

6.2.1. Спровођење анкете у циљу избора критеријума

Како би извршили правилан избор критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе, поред проучавања литературе, спроведена је анкета са 11 официра саобраћајне службе. Испитаници су запослени у Министарству обране и Војсци Србије и раде на различитим пословима у Гарди, батаљону за обуку саобраћајне службе у Краљеву, 3. бригади КоВ, Централној логистичкој бази и Војној академији.

Анкета

Анкета се састоји из два дела, први служи за одређивање коефицијента компетенције испитаника, а други део чини шест питања, односно испитанику је дата могућност да оцени важност шест различитих критеријума за оптимизацију транспорта на скали од 1 до 10.

У првом делу анкете, испитанику су постављена четири питања која се односе на његову професионалну каријеру. Сваки одговор носи одређен број бодова, а бодови дају оцену компетенције сваког испитаника. На Слици 11 може се видети први део онлајн анкете.



Kriterijumi kojima se optimizuje proces transporta opasne robe u VS sa ciljem minimizacije rizika

Vaši odgovori biće iskorišćeni za određivanje važnosti određenih kriterijuma prilikom izbora optimalne rute za transport opasne robe, sa ciljem minimizacije rizika. Prvi deo ankete namenjen je oceni kompetencije eksperta, a drugi prikupljanju Vaših mišljenja.

Unapred zahvalan,
Kadet Jovanović Stefan

* Required

Koliko imate godina radnog staža? *

☐ Do 5 godina
☐ Od 5 do 15 godina
☐ Od 15 do 30 godina
☐ Preko 30 godina

Koji je Vaš stepen obrazovanja? *

☐ Osnovne akademske studije
☐ Master studije
☐ Doktorske studije

Koliko imate objavljenih naučnih i stručnih radova? *

☐ Bez objavljenih radova
☐ Do 5 radova
☐ Od 5 do 10 radova
☐ Od 10 do 15 radova
☐ Od 15 do 20 radova
☐ Preko 20 radova

Koje su Vaše stručne aktivnosti van radnog mesta? *

☐ Bez aktivnosti
☐ Referati na naučno-stručnim konferencijama
☐ Delatnost u naučno-stručnim udruženjima
☐ Član redakcionog odbora časopisa
☐ Član naučnih i tehničkih saveta

Слика 11. Први део анкете намењен оцени компетенције стручњака

Оцена компетенције је изведена на основу четири критеријума [16]:

- Године радног стажа;
- Степен образовања;

- Број објављених научних и стручних радова;
- Стручне активности ван радног места.

Као одговор на сваки од критеријума, испитаник је могао да изабере једну од понуђених „група” којој припада, на основу чега му се додељује одређени број бодова a_i . Саставне карактеристике појединих црта и њихови нивои важности, односно број бодова на скали од 1 до 10, дати су у табелама 1-4.

Табела 1. Укупан радни стаж

Број година радног стажа	Број бодова (a_1)
До 5 година	2
Од 5 до 15 година	4
Од 15 до 30 година	6
Преко 30 година	8

Табела 2. Степен образовања

Степен образовања	Број бодова (a_2)
До 5 година	4
Од 5 до 15 година	7
Од 15 до 30 година	10

Табела 3. Број објављених научних и стручних радова

Број објављених научних и стручних радова	Број бодова (a_3)
Без објављених радова	0
До 5 објављених радова	4
Од 5 до 10 објављених радова	6
Од 10 до 15 објављених радова	8
Од 15 до 20 објављених радова	9
Преко 20 објављених радова	10

Табела 4. Стручне активности ван радног места

Стручне активности ван радног места	Број бодова (a_4)
Без активности	0
Реферати на научно-стручним конференцијама	4
Делатност у научно-стручним удружењима	6
Члан редакционог одбора часописа	8
Члан научних и техничких савета	10

Конечан коефицијент компетенције експерта се израчунава тако што се збир добијених бодова по сваком критеријуму (a_1, a_2, a_3, a_4) подели са укупним бројем бодова које експерт може да добије ($\sum a_{i \max}$).

$$K_k = \frac{\sum a_i}{\sum a_{i \max}} \quad (8)$$

a_i - оцена i -тог критеријума за вредновање компетенције експерта;

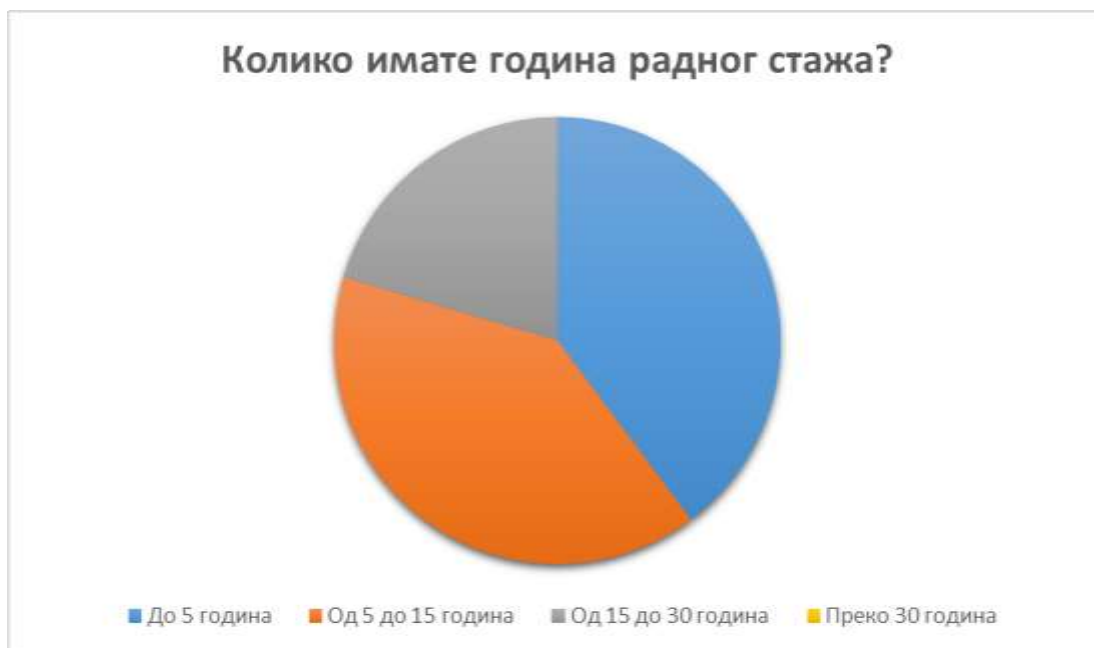
$a_{i \max}$ - максимална могућа оцена i -тог критеријума за вредновање компетенције експерта.

У табели 5 приказане су оцене испитаника по критеријумима, као и њихови коефицијенти компетенције.

Табела 5. Компетентност испитаника

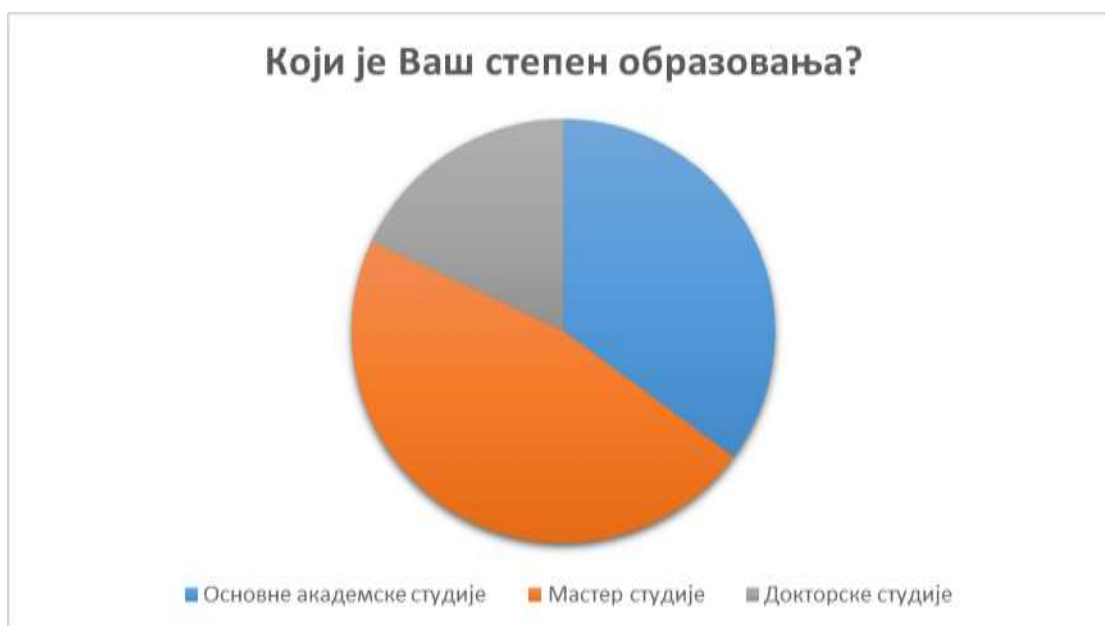
Критеријум Испитаник	(a_1)	(a_2)	(a_3)	(a_4)	K_k
1.	6	10	9	6	0.775
2.	6	10	10	10	0.9
3.	2	4	0	0	0.15
4.	2	4	4	4	0.35
5.	4	7	4	0	0.375
6.	4	7	4	4	0.475
7.	6	10	9	6	0.775
8.	2	7	4	0	0.325
9.	4	7	6	4	0.525
10.	6	7	8	6	0.675
11.	6	10	10	8	0.85

Како би били сигурни у компетентност узорка, која није потпуно оправдана због употребе упрошћене методе оцене компетенције експерата, дат је преглед одговора испитаника на питања коришћена за одређивање степена компетенције. Одговори испитаника по сваком критеријуму за добијање коефицијента компетенције приказани су на следећим сликама:



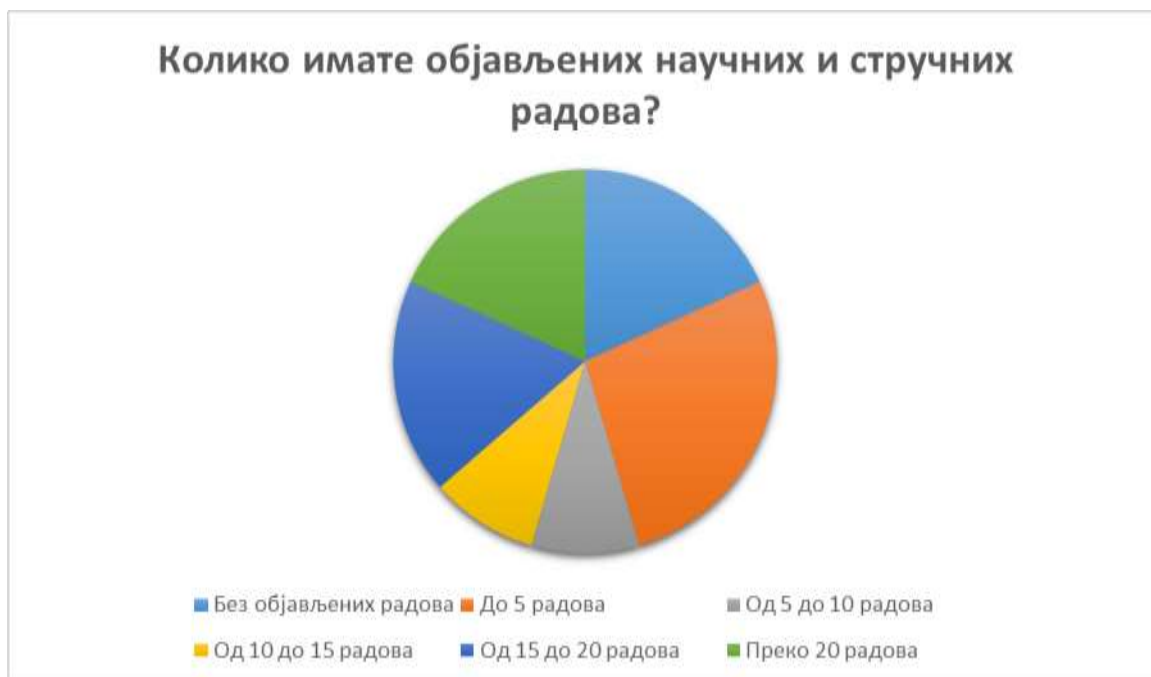
Слика 12. Радни стаж испитаника

Са Сlike 12 се може видети да је у анкети учествовао подједнак број најмлађих официра и официра са средњим бројем година радног стажа, по 40%, док официри са већим бројем година радног стажа чине петину узорка.



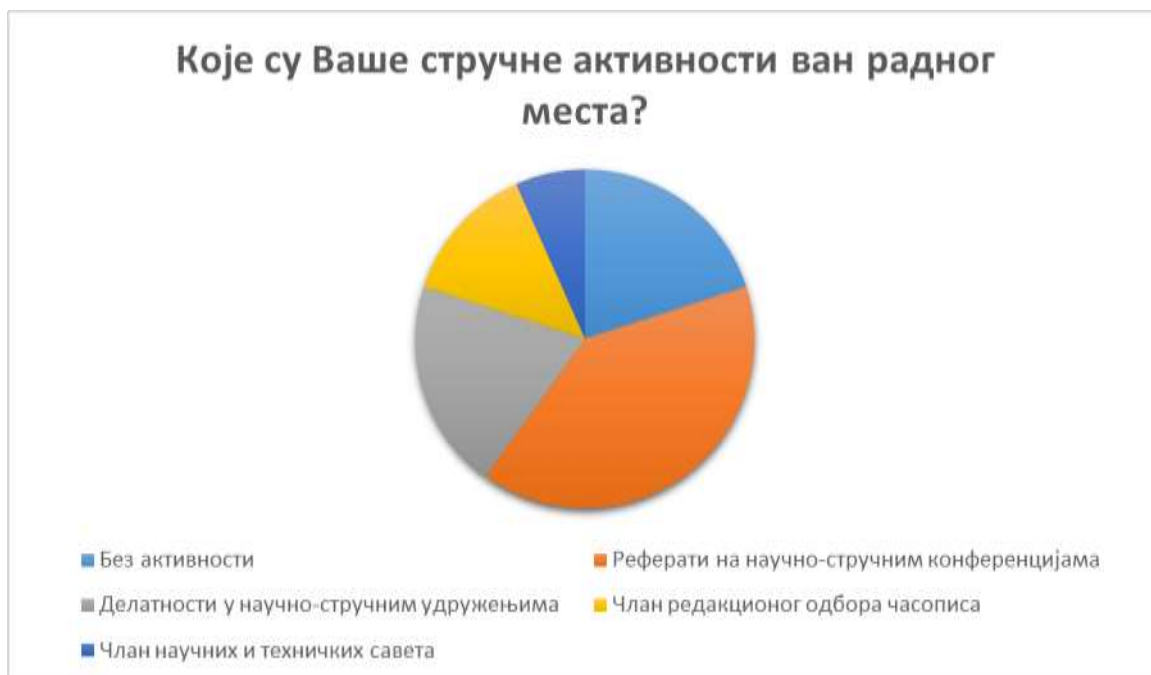
Слика 13. Степен образовања испитаника

Аналогно подацима добијеним у првом питању, број испитаних официра са завршеним основним академским студијама је једнак броју оних који су завршили мастер студије, а број оних са завршеним докторским студијама је упола мањи.



Слика 14. Број испитаника са објављеним научним и стручним радовима

Са Сlike 14 се може закључити да је број официра који имају искуства са објављивањем научних радова, односно издали су пет или више радова, скоро једнак броју оних који имају мање искуства у томе, односно објавили су мање од пет радова. Више од половине официра која је објавила више од пет радова спада у групу оних са преко 15 објављених радова, из чега се може закључити да је група испитаника прилично искусна у томе.



Слика 15. Стручне активности испитаника ван радног места

Одговори на последње, четврто питање, су у складу са одговорима на претходно питање, па се тако може закључити да се само петина испитаника не бави стручним активностима ван радног места.

Из наведеног се може закључити да је узорак компетентан за давање мишљења, односно оцена, на основу којих се може дефинисати реална важност сваког од критеријума који ће бити искоришћен за оптимизацију транспорта опасне робе.

Други део анкете је значајан за избор критеријума и одређивање њихове важности. Испитаници су критеријуме оцењивали на скали од 1 до 10, где је 1 минимално важан а 10 максимално важан критеријум. На крају анкете сваки испитаник је имао могућност да допише критеријум за који сматра да има утицај на избор оптималне руте. На Слици 16 приказан је изглед упитника са скалом за оцењивање.

IZBOR KRITERIJUMA ZA OPTIMIZACIJU PROCESA TRANSPORTA OPASNE ROBE U VS SA CILJEM MINIMIZACIJE RIZIKA

Svakom od dole navedenih kriterijuma potrebno je dodeliti ocenu od 1 do 10, u zavisnosti od važnosti kriterijuma za optimizaciju transporta opasne robe sa ciljem minimizacije rizika. Skala je u rastućem poretku, ocena 1 označava najmanju važnost a ocena 10 najveću važnost. Izabrani kriterijumi, kao i njihove važnosti, biće iskorišćeni prilikom izrade diplomskog rada na temu: "Optimizacija transporta opasne robe u gradskim zonama".

Troškovi transporta: *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Reagovanje hitnih službi u slučaju akcidenta: *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Rizik po životnu sredinu: *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Rizik od saobraćajne nezgode: *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Posledice po stanovništvo u slučaju akcidenta: *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Rizik po infrastrukturu i značajne objekte: *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Ukoliko smatrate da postoji još neki bitan kriterijum, zamolio bih Vas da ga navedete i ocenite na skali od 1 do 10.

Your answer:

Submit [Clear form](#)

Слика 16. Други део анкете намењен вредновању критеријума

Избор критеријума и одређивање њихових тежинских коефицијената

На основу података добијених обрађивањем анкете и препорука из литературе, одређено је шест кључних критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе у Војсци Србије са циљем минимизације ризика:

- Трошкови транспорта (k_1);
- Реаговање хитних служби у случају акцидента (k_2);
- Ризик по животну околину (k_3);
- Ризик од саобраћајне незгоде (k_4);
- Последице по становништво у случају акцидента (k_5);
- Ризик по инфраструктуру и битне објекте (k_6).

У Табели 6 приказан је преглед критеријума са описом.

Табела 6. Критеријуми за оптимизацију транспорта опасне робе

Ред. бр.	Критеријум	Опис критеријума
1.	Трошкови транспорта	Трошкови транспорта су пропорционални вредностима променљивих: време путовања, удаљеност, трошкови погонског горива итд. Вредност критеријума је представљена као дужина гране изражена у километрима (km).
2.	Реаговање хитних служби у случају акцидента	Реаговање хитних служби представља време за које градске службе (ватрогасне службе и службе хитне помоћи) реагују у случају акцидента. Као улазни параметар узима се просечно време реаговања, које се одређује на основу удаљености ових служби од средине гране мреже. Вредност овог критеријума изражена је у минутама (min).
3.	Ризик по животну околину	Ризик по животну околину се одређује на основу броја осетљивих подручја животне околине (водене површине, зелене површине) које се налазе у појасу гране. Појас гране се дефинише као критична област која може бити контаминирана у случају акцидента. Ширина појаса гране зависи од врсте опасне робе и обухвата простор од 800 метара од гране. Вредност овог критеријума одређује се на скали од 1-10, где вредност 1 представља врло мали број осетљивих подручја, а вредност 10 врло велики број осетљивих подручја.

Ред. бр.	Критеријум	Опис критеријума
4.	Ризик од саобраћајне незгоде	Ризик од саобраћајне незгоде дефинише се на основу броја саобраћајних незгода (f_1) на грани у последњих 10 година, броја саобраћајних трака (f_2), процента теретних возила у саобраћајном току (f_3) и сигнализације (f_4). Укупан ризик од саобраћајне незгоде (X) добија се применом израза $X = 0.3 \cdot f_1 + 0.2 \cdot f_2 + 0.2 \cdot f_3 + 0.3 \cdot f_4$. Вредности f_1 , f_2 , и f_3 представљене су квантитативним показатељима, док се квантификација показатеља f_4 врши применом скале: 1 – правила саобраћаја, 2 – регулисање саобраћајним знаковима, 3 – регулисање светлосним сигнаlima. Вредност овог критеријума одређује се на скали од 1-10, где вредност 1 представља врло мали ризик од саобраћајне незгоде, а вредност 10 врло велики ризик од саобраћајне незгоде.
5.	Последице по становништво у случају акцидента	Последице по становништво у случају акцидента представља се бројем становника (погођено становништво) који живе у појасу гране. Појас гране је простор од 800 метара од гране. Вредност овог критеријума одређује се на скали од 1-10, где вредност 1 представља врло мали број погођеног становништва, а вредност 10 врло велики број погођеног становништва.
6.	Ризик по инфраструктуру и битне објекте	Ризик по инфраструктуру и битне објекте представља број значајних инфраструктурних објеката у појасу гране (железница, електрична постројења, индустрија, пословни и транспортни објекти, школе, болнице, историјски објекти, службени објекти). Вредност овог критеријума одређује се на скали од 1-10, где вредност 1 представља врло мали број инфраструктурних објеката, а вредност 10 врло велики број инфраструктурних објеката.

Следећи корак је одређивање важности критеријума за оптимизацију транспорта опасне робе у ВС са циљем минимизације ризика. Одређивање важности је спроведено на основу оцене компетенције сваког испитаника и на основу оцене коју је доделио одређеном критеријуму.

Преглед оцена важности критеријума приказан је у Табели 7:

Табела 7. Одговори испитаника

Испитаник	Трошкови транспорта (k_1)	Реаговање хитних служби (k_2)	Ризик по животну околину (k_3)	Ризик од сабраћајне незгоде (k_4)	Последице по становништво у случају акцидента (k_5)	Ризик по инфраструктуру и битне објекте (k_6)
1	10	9	10	5	10	9
2	5	9	9	10	10	9
3	5	5	8	10	10	8
4	2	10	8	10	9	8
5	7	8	8	10	10	9
6	3	9	9	9	10	8
7	6	9	9	10	10	8
8	8	9	9	9	9	8
9	6	9	10	9	10	8
10	6	9	8	9	10	8
11	6	8	9	9	10	7

Мишљење експерта о одређеном критеријуму вреднујемо тако што његову оцену важности критеријума (k_{ij}) помножимо са коефицијентом компетенције експерта (K_{kj}). На тај начин добијамо тежински коефицијент одређеног експерта за одређени критеријум (w_{ij}'):

$$w_{ij}' = k_{ij} * K_{kj} \quad (9)$$

k_{ij} - оцена ј-тог експерта о i-том критеријуму за оптимизацију транспорта опасне робе у МО и ВС;

K_{kj} - коефицијент компетенције j-тог експерта.

Табела 8. Тежински коефицијенти критеријума појединачно по експертима

Испитаник	K_k	w_{1j}'	w_{2j}'	w_{3j}'	w_{4j}'	w_{5j}'	w_{6j}'
1	0.775	7.75	6.975	7.75	3.875	7.75	6.975
2	0.9	4.5	8.1	8.1	9	9	8.1
3	0.15	0.75	0.75	1.2	1.5	1.5	1.2
4	0.35	0.7	3.5	2.8	3.5	3.15	2.8
5	0.375	2.625	3	3	3.75	3.75	3.375
6	0.475	1.425	4.275	4.275	4.275	4.75	3.8
7	0.775	4.65	6.975	6.975	7.75	7.75	6.2

Испитаник	K_k	w_{1j}'	w_{2j}'	w_{3j}'	w_{4j}'	w_{5j}'	w_{6j}'
8	0.325	2.6	2.925	2.925	2.925	2.925	2.6
9	0.525	3.15	4.725	5.25	4.725	5.25	4.2
10	0.675	4.05	6.075	5.4	6.075	6.75	5.4
11	0.85	5.1	6.8	7.65	7.65	8.5	5.95
Средња вредност w_{ij}'		3.39	4.92	5.03	5.00	5.55	4.60

Применом методе Адитивне нормализације из средњих вредности (w_{ij}') добијају се тежински коефицијенти важности критеријума (w_i):

$$w_i = \frac{\overline{w_{ij}'}}{\sum_{j=1}^n \overline{w_{ij}'}} \quad (10)$$

w_i - тежински коефицијент;

$\overline{w_{ij}'}$ -средња вредност важности критеријума;

n - број критеријума за рутирање.

У Табели 9 дат је преглед критеријума и њихових коначних тежинских коефицијената.

Табела 9. Ранг критеријума

Ред. бр.	Критеријум за избор руте за транспорт опасне робе	Средња вредност добијена из упитника	Тежински коефицијент
1	Последице по становништво у случају акцидента	5.55	0.195
2	Ризик по животну околину	5.03	0.177
3	Ризик од саобраћајне незгоде	5.00	0.176
4	Реаговање хитних сужби у случају акцидента	4.92	0.172
5	Ризик по инфраструктуру и битне објекте	4.6	0.161
6	Трошкови транспорта	3.39	0.119

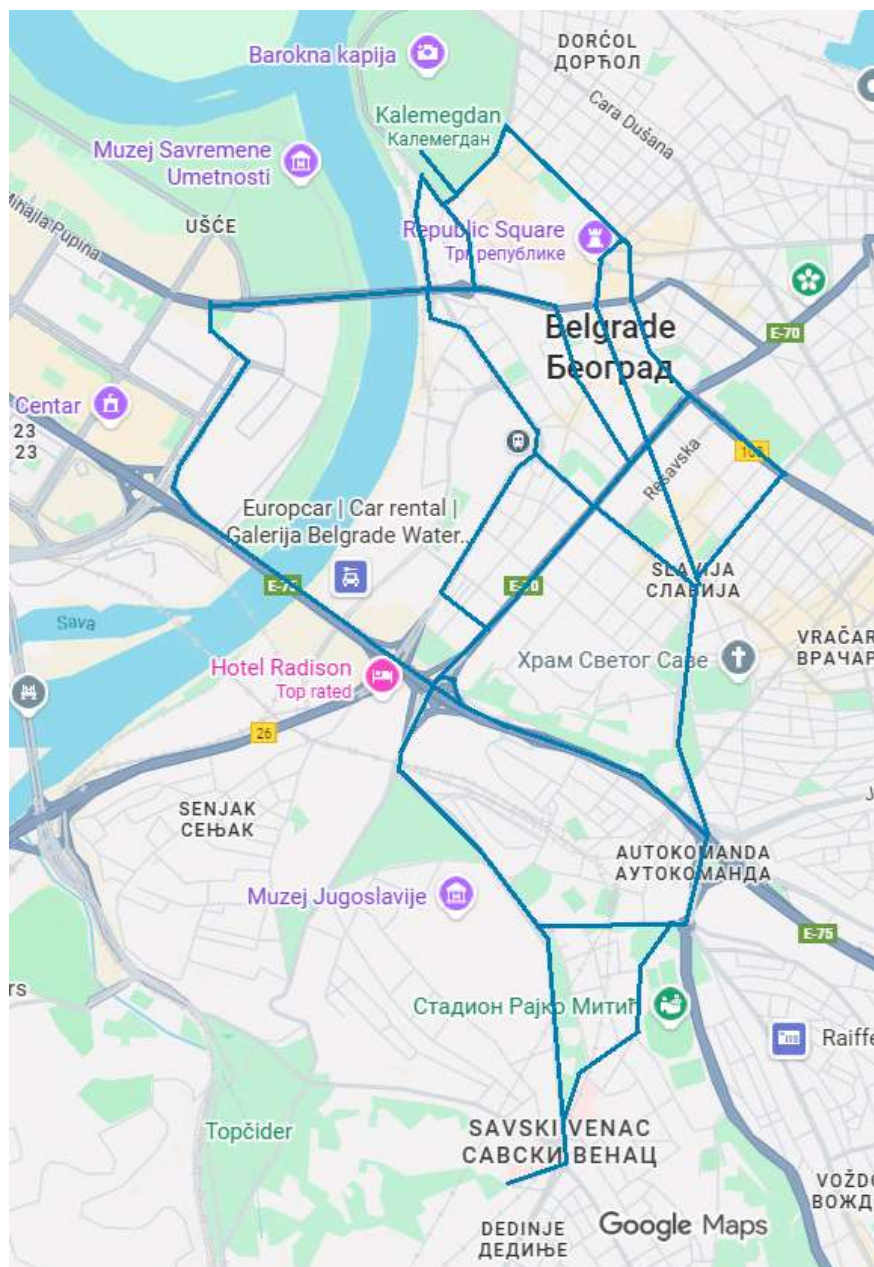
7. ТЕСТИРАЊЕ ПРЕДЛОЖЕНОГ МОДЕЛА

На примеру транспортног задатка из праксе, а уз помоћ критеријума дефинисаних у раду и изабраног модела транспортних мрежа за пројектовање рута саобраћајних средстава, у наставку је тестиран модел за транспорт одређене опасне робе. Циљ је да се утврди да ли је рута за транспорт која је коришћена у пракси била оптимална, а ако није, да се утврди оптимална рута за овај транспортни задатак. Као што је наведено, приликом прорачуна коришћен је алгоритам Дијкстре.

7.1. Дефинисање задатка

На основу наређења претпостављене команде, издатог у циљу обезбеђења услова за несметану реализацију Почасне артиљеријске паљбе поводом Дана државности Републике Србије са Калемегданске терасе, команда јединице је издала наређење за транспорт опасне робе на релацији касарна „Дедиње“, Београд – Калемегданска тераса. Задатак подразумева транспорт маневарске муниције за топ М1942 (ZiS-3) 76mm коришћењем једног теренског возила за вучу и транспорт ТАМ 150 Т11, које је претходно припремљено за транспорт опасне робе.

Након сагледавања могућих правца кретања између касарне „Дедиње“, и Калемегданске терасе, добијена је мрежа путева приказана на Слици 17. Како се возило за транспорт опасне робе, у складу са наређењем, креће у колони војних возила под пратњом Војне полиције (колона је сачињена од шест до 10 теренских возила за вучу и транспорт, којима се транспортују топови за извршење Почасне артиљеријске паљбе и два аутобуса за превозење почасне јединице и Репрезентативног оркестра Гарде), у обзир су узете само саобраћајнице које имају довољан капацитет да пропусте ову колону.



Слика 17. Путна мрежа за реализацију задатка

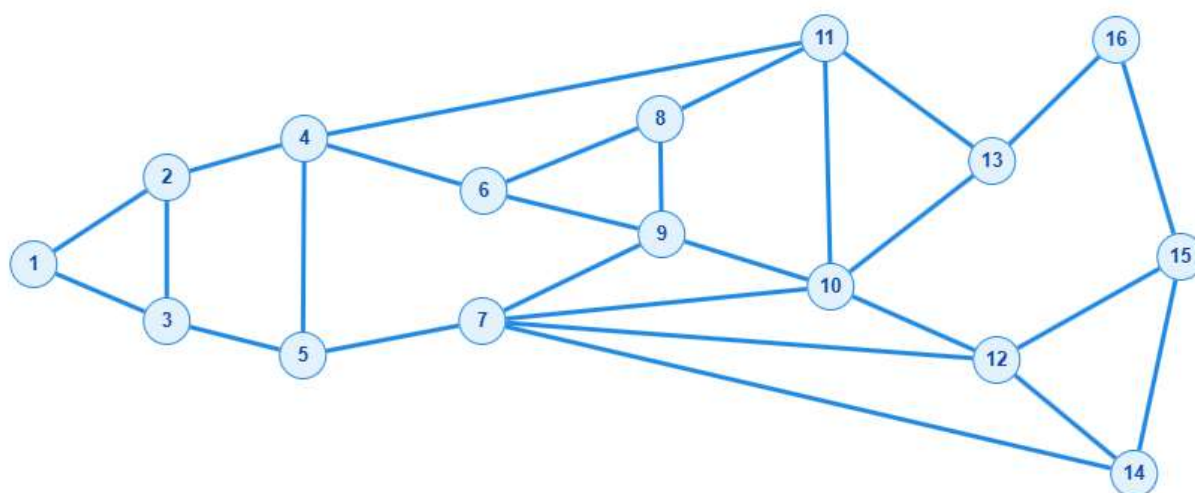
На слици се могу уочити три главна могућа правца кретања:

- први Булеваром кнеза Александра Карађорђевића до петље „Мостар“, затим преко „Газеле“, до првог искључења, даље до Булевара Михајла Пупина и Бранковог моста.
- други правац је исти до петље „Мостар“, одакле овај правац подразумева да се настави даље улицом Кнеза Милоша, при чему постоји могућност „силаска“ у Савску или наставак кретања дуж Кнеза Милоша до Народне скупштине Републике Србије.

- трећи могући правац кретања подразумева кретање преко Аутокомананде, Булеваром Ослобођења до „Славије“, одакле постоје три правца кретања, од којих се један укључује на крај другог правца.

7.2. Израда мреже и вредновање грана

Када су одређени чворови и гране у мрежи, потребно је оценити гране по критеријумима. На Слици 18 приказана је шема чворова и грана путне мреже приказан у облику графа. Шема није приказана у размери, већ приказује транспортну мрежу и повезаност чворова на њој, а коришћена је за решавање Дијкстра алгоритма.



Слика 18. Транспортна мрежа на којој треба одредити оптимални пут

Вредновање грана по сваком критеријуму извршено је апроксимативном методом а начин вредновања је приказан у Табели 10.

Табела 10. Вредновање критеријума

Критеријуми за избор руте за транспорт опасне робе	Начин вредновања
Трошкови транспорта (k_1)	Вредност је додељена на основу дужина грана и изражава се у километрима.
Реаговање хитних служби у случају акцидента (k_2)	Вреднован је на основу близине одређене гране служби за хитно реаговање (ватрогасне и службе хитне медицинске помоћи). Изражен је у минутима.
Ризик по животну околину (k_3)	Вредности су додељене на следећи начин: вредност 1 и 2 додељивана је градским зонама у којима је мало зелених површина, 3, 4 и 5 додељивана је градским и насељеним зонама у којима има зелених површина, 6 и 7 додељивана

Критеријуми за избор руте за транспорт опасне робе	Начин вредновања
	је зонама у којима се грана великом дужином протеже поред парка или веће зелене површине, 8 и 9 додељивана је зонама у којима грана пролази поред или преко река, а често је и у комбинацији са зеленим површинама.
Ризик од саобраћајне незгоде (k_4)	Вреднован је на основу карактеристика пута на следећи начин: вредност 1, 2 и 3 додељивана је аутопутевима и путевима без кривина, вредност 4, 5 и 6 додељивана је путевима са више кружних токова, кривина и интензивним саобраћајем, вредност 7, 8 и 9 додељивана је путним правцима са много кривина, слабом прегледношћу пута, високоинтензивним саобраћајем и путним петљама.
Последице по становништво у случају акцидента (k_5)	Вреднован је на основу броја становника који живе у близини гране на следећи начин: вредност 1, 2 и 3 додељена је гранама које не пролазе кроз градске улице, вредности 4, 5 и 6 додељене су гранама које пролазе кроз градске улице и насеља, вредности 7 и 8 додељиване су гранама које пролазе кроз урбана градска насеља а вредност 9 гранама које пролазе кроз густо насељене градске улице.
Ризик по инфраструктуру и битне објекте (k_6)	Вредност је додељена на основу броја значајних инфраструктурних објеката у близини гране на следећи начин: вредности 1, 2 и 3 додељиване су гранама у чијој се близини не налази пуно битних објеката, вредности 4, 5 и 6 додељиване су гранама у чијој се близини налазе инфраструктурни објекти мање важности (мање фабрике, амбуланте), вредности 7, 8 и 9 додељиване су гранама у чијој се близини налазе велика постројења, фабрике, школе, болнице, амбасаде, државни објекти.

Вредности критеријума по гранама приказане су у Табели 11.

Табела 11. Вредност критеријума по гранама

Грана	k_1 (km)	k_2 (min)	k_3 (1-9)	k_4 (1-9)	k_5 (1-9)	k_6 (1-9)
(1,2)	1.5	3	3	2	4	2
(2,3)	0.6	5	5	3	2	3
(1,3)	1.8	3	10	3	8	7
(3,5)	0.4	5	7	2	4	3
(5,7)	1.5	7	7	5	7	6
(5,4)	2.6	5	3	3	2	2
(2,4)	1.4	3	3	2	2	2
(4,6)	0.6	3	3	2	3	2
(6,9)	0.7	3	6	5	6	4

Грана	k_1 (km)	k_2 (min)	k_3 (1-9)	k_4 (1-9)	k_5 (1-9)	k_6 (1-9)
(7,9)	0.6	10	7	4	8	6
(6,8)	1.2	3	3	2	4	3
(8,9)	0.3	3	6	4	6	7
(4,11)	3.9	20	8	6	8	10
(8,11)	1	3	5	2	3	3
(9,10)	0.25	5	6	5	7	7
(7,10)	0.85	10	6	6	8	7
(7,12)	0.95	12	6	7	8	8
(7,14)	2	12	7	7	9	8
(10,12)	0.2	10	6	6	8	8
(12,14)	0.5	12	8	7	8	9
(11,10)	3.5	7	6	6	7	7
(11,13)	0.7	5	5	4	4	4
(10,13)	2	7	7	6	7	6
(12,15)	1	5	6	6	9	8
(14,15)	0.7	7	8	8	10	9
(15,16)	2	5	8	6	10	9
(13,16)	0.3	3	5	3	4	6

Нормализацијом вредности приказаних у Табели 11 добијају се коначне вредности грана које је могуће упоредити и помоћу њих одредити укупну вредност ризика. Нормализација вредности критеријума грана извршена је применом процентне нормализације, тако што се вредности критеријума поделе са највишом вредношћу сваког критеријума. У Табели 12 су приказане нормализоване вредности критеријума и одређена је вредност сваке гране уз помоћ релације:

$$X = w_1 * K_1 + w_2 * K_2 \dots + w_6 * K_6 \quad (11)$$

где је :

X - коначна вредност ризика на грани;

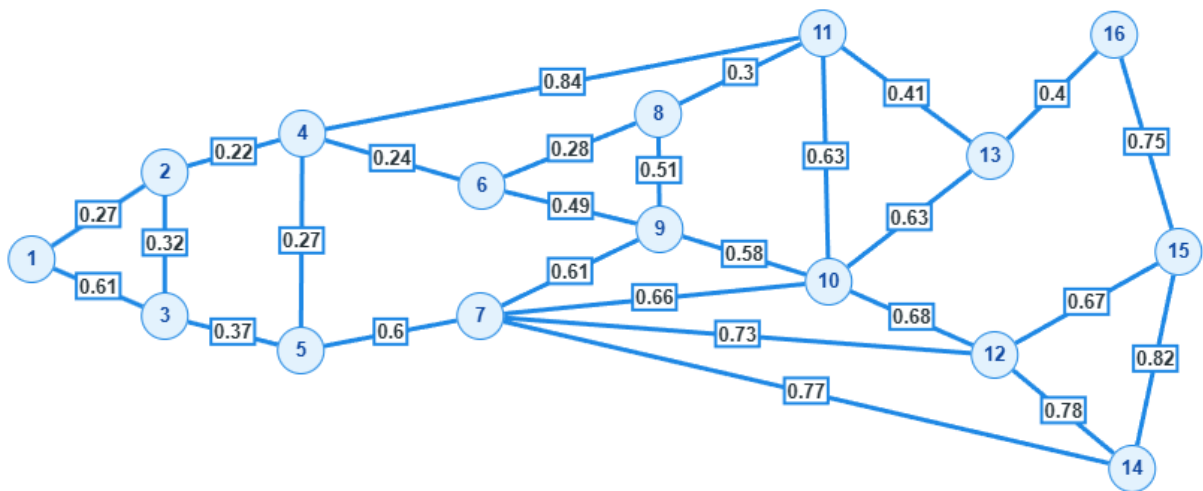
$w_1, w_2, \dots, w_6$ - тежински коефицијенти критеријума;

$K_1, K_2, \dots, K_6$ - нормализоване вредности критеријума.

Табела 12. Вредности грана

Грана	k_1 (km)	k_2 (min)	k_3 (1-9)	k_4 (1-9)	k_5 (1-9)	k_6 (1-9)	Σ
w	0.119	0.172	0.177	0.176	0.195	0.161	1
(1,2)	0.005	0.021	0.059	0.059	0.087	0.036	0.27
(2,3)	0.002	0.034	0.098	0.088	0.043	0.054	0.32
(1,3)	0.005	0.021	0.197	0.088	0.173	0.125	0.61
(3,5)	0.001	0.034	0.138	0.059	0.087	0.054	0.37
(5,7)	0.005	0.048	0.138	0.147	0.152	0.107	0.60
(5,4)	0.008	0.034	0.059	0.088	0.043	0.036	0.27
(2,4)	0.004	0.021	0.059	0.059	0.043	0.036	0.22
(4,6)	0.002	0.021	0.059	0.059	0.065	0.036	0.24
(6,9)	0.002	0.021	0.118	0.147	0.130	0.072	0.49
(7,9)	0.002	0.069	0.138	0.117	0.173	0.107	0.61
(6,8)	0.004	0.021	0.059	0.059	0.087	0.054	0.28
(8,9)	0.001	0.021	0.118	0.117	0.130	0.125	0.51
(4,11)	0.012	0.138	0.157	0.176	0.173	0.179	0.84
(8,11)	0.003	0.021	0.098	0.059	0.065	0.054	0.30
(9,10)	0.001	0.034	0.118	0.147	0.152	0.125	0.58
(7,10)	0.003	0.069	0.118	0.176	0.173	0.125	0.66
(7,12)	0.003	0.083	0.118	0.205	0.173	0.143	0.73
(7,14)	0.006	0.083	0.138	0.205	0.195	0.143	0.77
(10,12)	0.001	0.069	0.118	0.176	0.173	0.143	0.68
(12,14)	0.002	0.083	0.157	0.205	0.173	0.161	0.78
(11,10)	0.011	0.048	0.118	0.176	0.152	0.125	0.63
(11,13)	0.002	0.034	0.098	0.117	0.087	0.072	0.41
(10,13)	0.006	0.048	0.138	0.176	0.152	0.107	0.63
(12,15)	0.003	0.034	0.118	0.176	0.195	0.143	0.67
(14,15)	0.002	0.048	0.157	0.235	0.217	0.161	0.82
(15,16)	0.006	0.034	0.157	0.176	0.217	0.161	0.75
(13,16)	0.001	0.021	0.098	0.088	0.087	0.107	0.40

На Слици 19 шематски је приказана мрежа са претходно израчунатим вредностима.



Слика 19. Транспортна мрежа са дефинисаним вредностима грана

7.3. Примена Дијкстра алгоритма за проналазак оптималне руте

Користећи Дијкстрин алгоритам, описан у трећој тачки овог рада, израчунати су „најкраћи“ путеви од чвора 1 до свих осталих чворова у мрежи. Пошто су вредности грана транспортне мреже ризик који је израчунат уз помоћ критеријума, одређивањем најкраћих путева од чвора 1 до свих осталих чворова добија се оптимална рута (најбезбеднија) за транспорт опасне робе.

На приказаној транспортној мрежи чвор 1 је касарна „Дедиње“, а чвор 16 је крајње одредиште, Калемегданска тераса. Одређивањем „најкраће“ руте између ова два чвора долази се до оптималне руте за транспорт опасне робе.

Процес тражења најкраћих путева започиње од чвора 1. Пошто је дужина најкраћег пута од чвора 1 до чвора 1 једнака 0, то је $d_{1,1}=0$. Чвор претходник почетном чвору 1 означавамо симболом +, па је стога $q_1=+$. Дужине свих најкраћих путева од чвора 1 до свих осталих чворова $i \neq 1$ за сада су неистражене због чега се код свих осталих чворова $i \neq 1$ ставља да је $d_{1,i} = \infty$. Пошто су и чворови претходници чворовима $i \neq 1$ на најкраћим путевима непознати ставља се $q_i = -$ за све $i \neq 1$. Једини чвор који је тренутно у затвореном стању је чвор 1. Због тога је $c=1$. Поред ознака чвора 1 – ознаке $(0,+)$ ставља се знак ' да би се нагласило да је чвор 1 у затвореном стању. Овим је завршен први корак алгоритма.

У другом кораку алгоритма испитују се дужине свих грана које излазе из чвора 1 који је у затвореном стању. Испитивањем свих грана које иду из чвора 1 према чворовима који се налазе у отвореном стању, следи да је:

$$d_{1,2} = \min\{\infty, d_{1,1} + d(1,2)\} = \min\{\infty, 0 + 0,27\} = \min\{\infty, 0,27\} = 0,27$$

$$d_{1,3} = \min\{\infty, d_{1,1} + d(1,3)\} = \min\{\infty, 0 + 0,61\} = \min\{\infty, 0,61\} = 0,61$$

Пошто је $d_{1,2} < d_{1,3}$, то значи да чвор 2 прелази из отвореног у затворено стање.

У следећем пролазу кроз алгоритам следи:

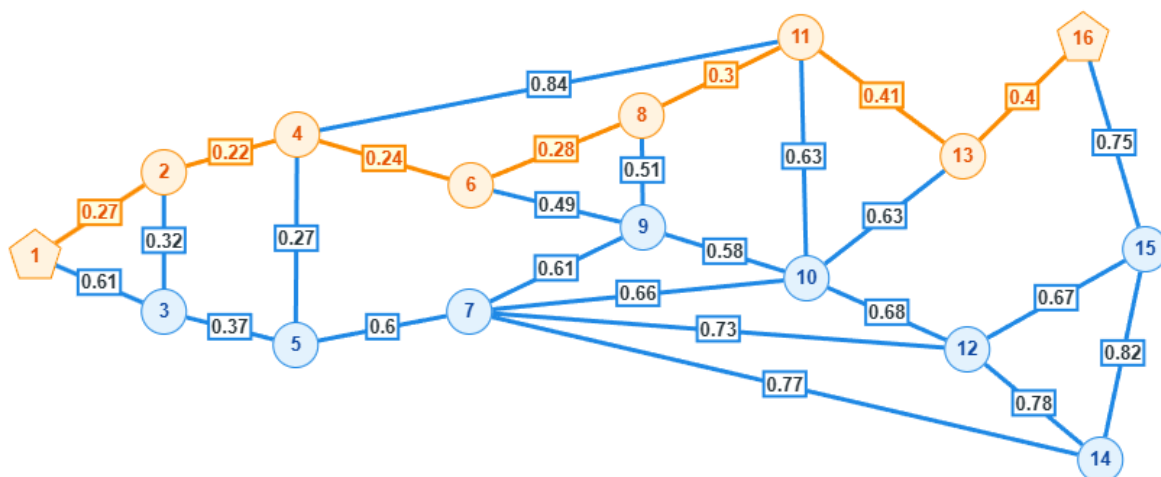
$$d_{2,4} = \min\{\infty, d_{1,2} + d(2,4)\} = \min\{\infty, 0,27 + 0,22\} = \min\{\infty, 0,49\} = 0,49,$$

$$d_{2,3} = \min\{\infty, d_{1,2} + d(2,3)\} = \min\{\infty, 0,27 + 0,32\} = \min\{\infty, 0,59\} = 0,59,$$

$$d_{1,3} = 0,61.$$

Из наведеног можемо закључити да је следећи затворени чвор број 4, јер је вредност $d_{2,4}$ најмања.

Пролазак кроз алгоритам се наставља све док се не „затворе“ сви чворови. На крају алгоритма добијени су најкраћи путеви од чвора 1 до свих осталих чворова. Најкраћи пут од почетног до крајњег чвора приказан је на Слици 20.



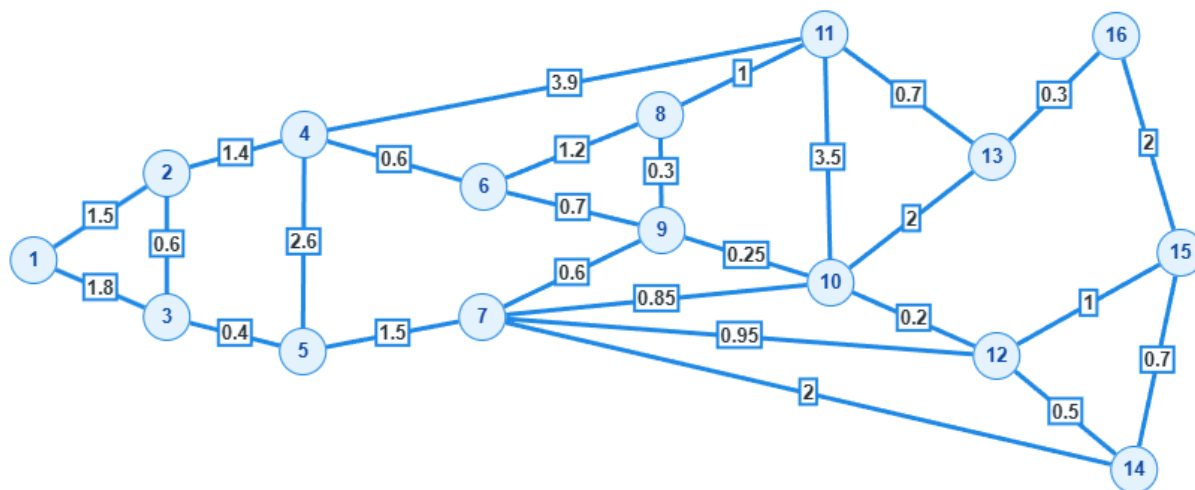
Слика 20. „Најкраћи“ пут од чвора 1 до чвора 16

Оптимална рута за транспорт опасне робе је: 1-2-4-6-8-11-13-16, а укупни добијени ризик износи:

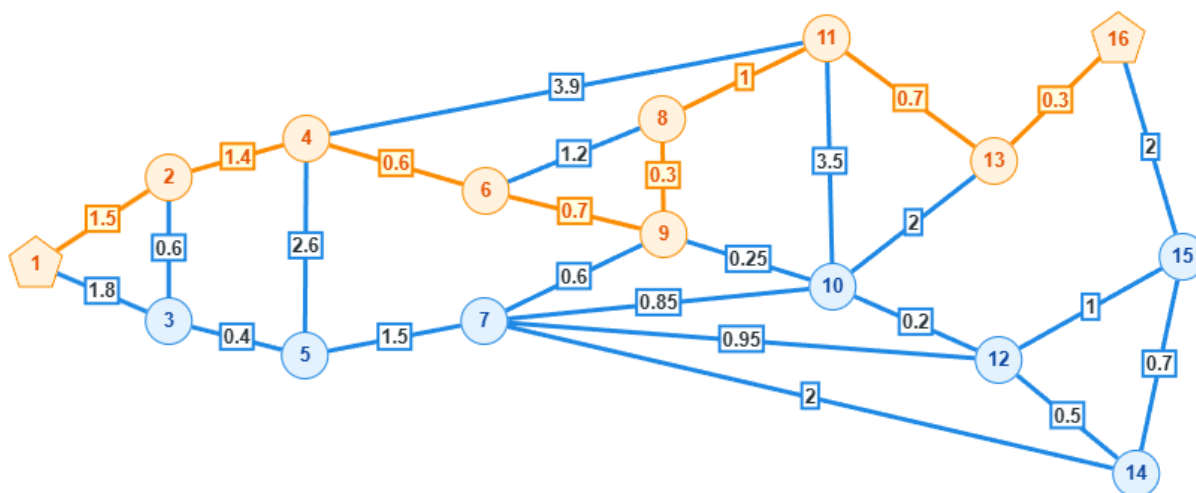
$$\begin{aligned} X &= d(1,2) + d(2,4) + d(4,6) + d(6,8) + d(8,11) + d(11,13) + d(13,16) = \\ &= 0,27 + 0,22 + 0,24 + 0,28 + 0,3 + 0,41 + 0,4 = 2,12 \end{aligned}$$

7.4. Примена Дијкстра алгоритма за проналазак најкраће руте

Приказаним прорачуном добијена је оптимална рута, када се у обзир узму критеријуми који су предходно дефинисани. У даљем раду истом методом одређен је најкраћи пут од чвора 1 до свих осталих чворова. Овај пут у обзир је узет само први критеријум, трошкови транспорта, односно удаљеност чворова, па је вредност грана изражена у километрима (Слика 21).



Слика 21. Мрежа са унетим удаљеностима у километрима



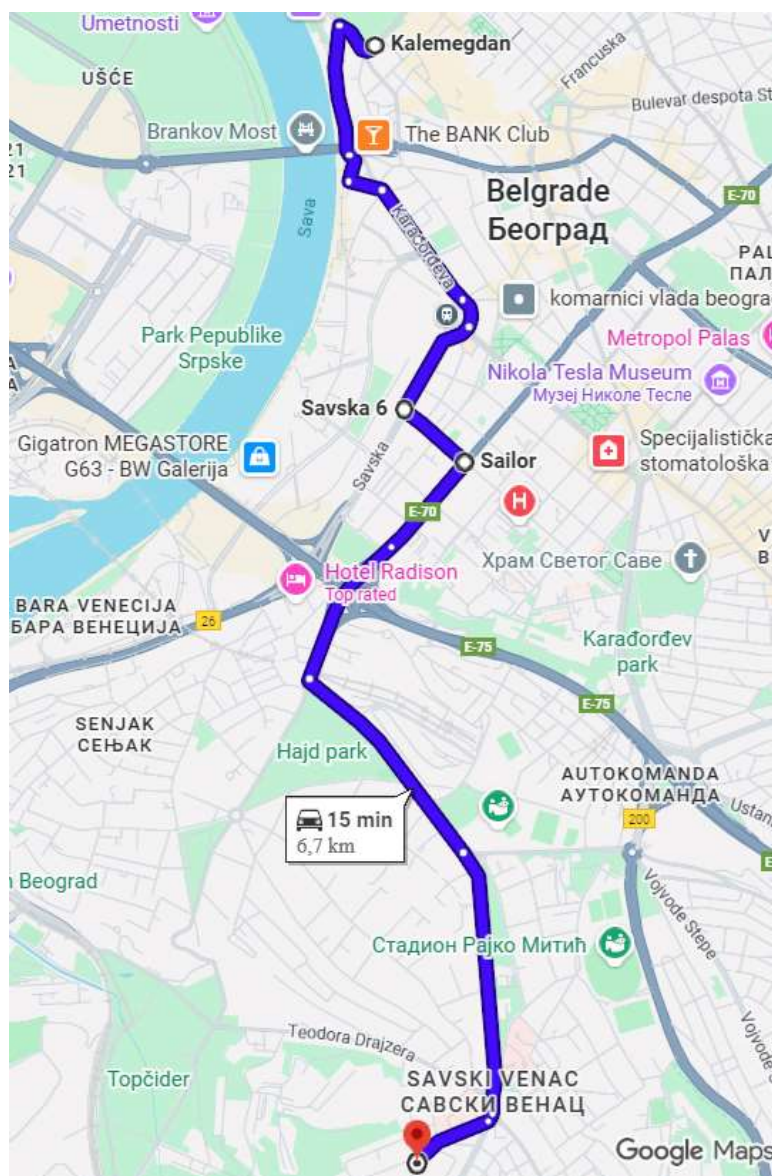
Слика 22. Најкраћи пут од чвора 1 до чвора 16.

Као што се може видети на Слици 22, најкраћи пут од чвора 1 до чвора 16 је: 1-2-4-6-9-8-11-13-16. Добијена удаљеност у километрима износи:

$$\begin{aligned}
 Y &= d(1,2) + d(2,4) + d(4,6) + d(6,9) + d(9,8) + d(8,11) + d(11,13) + d(13,16) \\
 &= \\
 &= 1,5 + 1,4 + 0,6 + 0,7 + 0,3 + 1 + 0,7 + 0,3 = 6,5 \text{ km}
 \end{aligned}$$

7.5. Анализа добијеног резултата

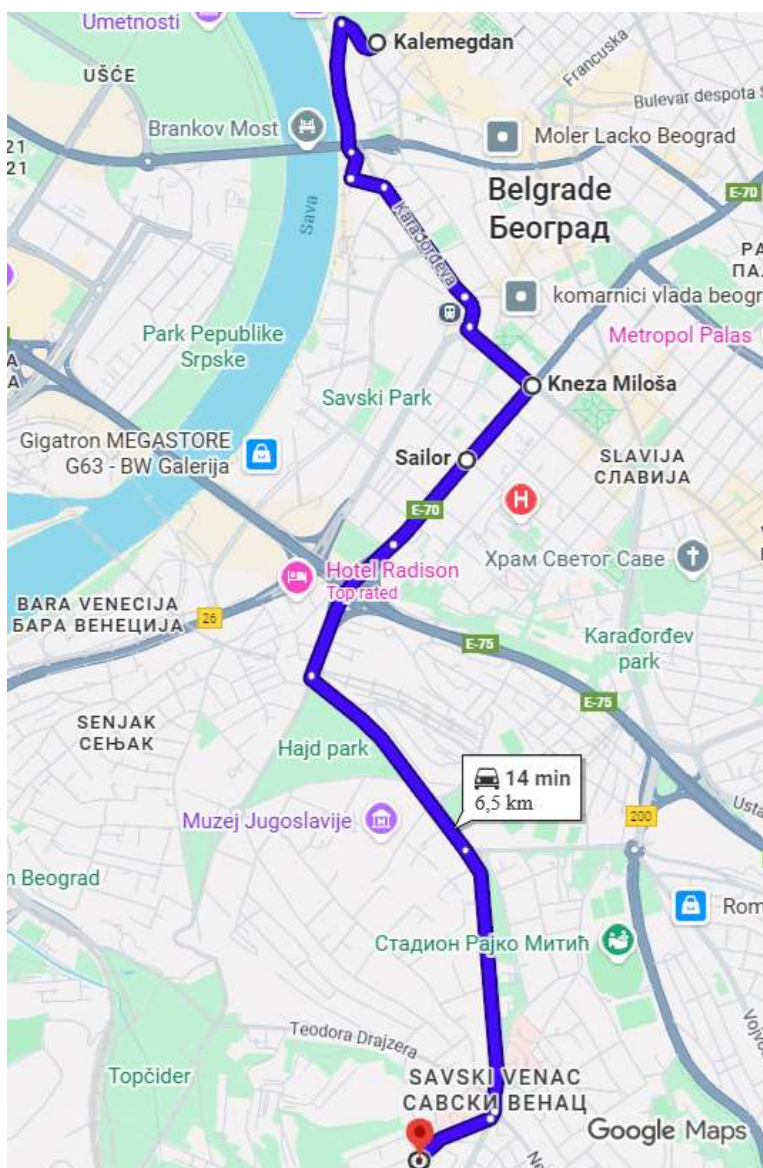
У првом прорачуну Дијкстриним алгоритмом одређене су најмање вредности ризика од чвора 1 до свих осталих чворова, самим тим и оптимална рута за транспорт опасне робе из касарне „Дедиње“, до Калемегданске терасе. У овом случају, оптимална рута се поклапа са рутом која је коришћена приликом обављања конкретног задатка. Оптимална рута је приказана на Слици 23.



Слика 23. Оптимална рута за транспорт опасне робе

Оптимална рута за транспорт опасне робе је: касарна „Дедиње“, Булевар кнеза Александра Карађорђевића, Булевар војводе Путника, Кнеза Милоша, Милоша Поцерца, Савска, Карађорђева, Париска до улаза на Калемегдан.

Другим прорачуном, а коришћењем исте методе, одређена је најкраћа рута између ова два чвора. У овом случају ове две руте се незнатно разликују. На Слици 24 приказана је рута са најкраћим растојањем.



Слика 24. Рута са најкраћим растојањем

Рута са најкраћим пређеним путем је: касарна „Дедиње“, Булевар кнеза Александра Карађорђевића, Булевар војводе Путника, Кнеза Милоша, Немањина, Савска, Карађорђева, Париска до улаза на Калемегдан.

Како би се лакше сагледале разлике између ове две руте приказане су њихове вредности ризика и пређеног пута:

- Добијени ризик и пређени пут у оптималној рути износе:

$$X_1 = 2,12$$

$$Y_1 = d(1,2) + d(2,4) + d(4,6) + d(6,8) + d(8,11) + d(11,13) + d(13,16) = 1,5 + 1,4 + 0,6 + 1,2 + 1 + 0,7 + 0,3 = 6,7 \text{ km}$$

- Добијени ризик и пређени пут у рути са најкраћим растојањем износе:

$$X_2 = d(1,2) + d(2,4) + d(4,6) + d(6,9) + d(9,8) + d(8,11) + d(11,13) + d(13,16) = 0,27 + 0,22 + 0,24 + 0,49 + 0,51 + 0,3 + 0,41 + 0,4 = 2,84$$

$$Y_2 = 6,5 \text{ km}$$

Разлика у километражи између ове две солуције је занемарљива, али приликом транспорта опасне робе кључна је разлика у ризику. Рута са краћим растојањем има 25% већи ризик од оптималне руте. Главни разлог је тај што се у оптималној рути избегава улазак у ужи центар града, где се у конкретном случају налазе зграда Владе Србије, Министарства Одбране као и већи број стамбених и пословних објеката. Из следећег израза се може видети однос ризика ове две руте:

$$\Delta X = 100 * [1 - (X_1/X_2)] = 25,35 \% \quad (12)$$

ΔX – разлика у ризику;

X_1 – ризик приликом коришћења оптималне руте;

X_2 – ризик приликом коришћења руте са краћим растојањем.

8. ЗАКЉУЧАК

Транспортни процес опасне робе се значајно разликује од транспорта остале робе, првенствено због њених физичких и хемијских особина које у неконтролисаним условима могу постати штетне по људе, материјална добра, животиње, водотокове, вегетацију и, генерално, за читав екосистем. Око 35% акцидената са опасном робом се дешава у току њеног транспорта, стога је потребно да се предузму одређене мере како би се смањила могућност настанка незгоде. Управљање овим ризиком је нарочито изражено у градским срединама због много већих последица. Како би се ризик свео на минимум потребно је да се одговорност свих учесника у транспорту опасне робе подигне на највиши ниво. Кључан је процес планирања транспорта опасне робе, односно проналазак оптималне руте за транспорт, чија ће вредност ризика бити најмања. Из ових разлога, овај рад обрађује један од поступака проналаска оптималне руте за транспорт опасне робе, чија се функционалност доказује на једном од примера транспорта опасне робе у Војсци Србије.

Једна од битнијих полазних тачака приликом изналажења руте је правилан избор критеријума за оптимизацију. У овом раду критеријуми су одређени на основу литературе и анкете, која је спроведена над 11 припадника саобраћајне службе ВС. Оно што, такође, треба нагласити је то да нису сви критеријуми подједнако важни. Тежински коефицијент критеријума је одређен на основу оцењивања испитаника, у складу са њиховим коефицијентом компетенције. Тек када је утврђена појединачна важност критеријума приступљено је додељивању вредности свакој грани у мрежи.

У овом раду важност критеријума је одређена на основу спроведене анкете, а њихове вредности су одређиване апроксимативно. Студиознијим одређивањем вредности критеријума се може доћи до много прецизнијих резултата, али су та истраживања веома комплексна и захтевају приступ различитим базама података до којих је тешко доћи.

Када су одређене вредности грана у мрежи, приступило се проналаску оптималне руте. Како се у пракси најчешће бира рута са најкраћим растојањем, циљ рада је био да се упореди вредност ризика у оптималној и у најкраћој рути. Ове вредности ризика добијене су након одређивања „најкраћих“ рута на основу ова два критеријума, уз помоћ Дијкстриног алгоритма. Поређењем пређеног пута и присутног ризика на ове две руте, долази се до закључка да је ризик на краћој рути, на којој се уштеде могу скоро занемарити, неупоредиво већи у односу на оптималну руту.

Штете које могу настати при транспорту опасне робе су огромне, а МО и ВС не могу да функционишу без транспорта ове врсте. Из овог разлога се приликом планирања транспорта опасне робе мора нарочито водити рачуна о факторима који утичу на безбедност. Незнатне уштеде које се могу остварити одабиром краће руте не могу се поредити са последицама које може изазвати акцидентна ситуација. Стога, приликом планирања и реализације транспорта опасне робе увек треба размотрити све факторе који могу утицати на ризик од акцидентне ситуације и евентуалне последице по људство и технику МО и ВС, као и по околину.

Како би се ризик приликом транспорта опасне робе у Војсци Србије свео на минимум усавршавања и истраживања у овој области морају бити константни а управљање ризиком се мора усталити у планирању превозења.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вуковић М., Штрбац Н., Методологија научних истраживања, Технички факултет у Бору, Бор, 2019. године
- [2] Милошевић Н., Пројектовање истраживања у ратној вештини, ВИНЦ, Београд, 1989.
- [3] Васин, Љ., Митић, Ж., Организација и технологија друмског транспорта, Војна академија, Београд, 2010.
- [4] Закон о транспорту опасне робе („Службени гласник РС” бр. 104/16, 83/18, 95/18 - др. закон и 10/19 – др. закон), Београд
- [5] Закон о територијалном уређењу Републике Србије („Службени гласник РС” бр. 129/07, 18/16, 47/18 и 9/20 – др. закон), Београд
- [6] Правилник о транспорту опасне робе у Министарству одбране и Војсци Србије, („Службени војни лист”, број 8/18), Београд, 2018.
- [7] Јовановић, В., Транспорт опасних материја, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, 2004. године
- [8] Јовичић, З., Опасне материје, Институт за квалитет животне средине, Ниш, 1996.
- [9] Група аутора, Транспорт опасне робе у друмском транспорту, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, 2007 године
- [10] Теодоровић, Д., Транспортне мреже, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, 2016. године
- [11] Ђоровић, Б., Примена модела транспортних мрежа у војном саобраћају и транспорту, *Научнотехнички преглед*, вол. LI, бр. 2, Београд, 2001. године
- [12] Ђоровић, Б., Љубојевић, С., Димић, С., Оптимизација реализације транспортних процеса применом рутинг модела, *Војнотехнички гласник*, Београд, 1/2005, стр. 76-85
- [13] Памучар, Д., Љубојевић, С., Костадиновић, Д., Ђоровић, Б., A neuro-fuzzy approach to urban hazmat vehicle routing, *Expert systems with applications*, 2016. године
- [14] Старчевић, С., Гошић, А., Методологија за избор трасе за транспорт опасног терета-студија случаја, *Војнотехнички гласник*, Београд, број 62, стр. 165-184, 2014.
- [15] Јовановић, Б., Миловановић, Б., Младеновић, Д., Транспорт опасне робе у друмском саобраћају, Саобраћајни факултет, Београд, 2010.
- [16] Ђоровић, Б., Памучар, Д., Практикум из организације рада у саобраћају и транспорту, Министарство одбране, Војна академија, Београд, 2008.

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Опасан терет.....	12
Слика 2. Листице опасности за транспорт опасне робе.....	21
Слика 3. Димензије листице опасности.....	22
Слика 4. Обележавање возила наранџастим таблама.....	22
Слика 5. Димензије наранџасте табле за обележавање возила и ознаке на њој.....	23
Слика 6. Чворови који захтевају опслугу (лево) и руте саобраћајних средстава која врше опслугу (десно).....	29
Слика 7. Приступи "рутинг-зонирање" и "зонирање-рутинг".....	30
Слика 8. Прорачун "уштеда".....	31
Слика 9. Мрежа у којој треба утврдити најкраће путеве од чвора 1 до свих осталих чворова.....	32
Слика 10. Шематски приказ поступка одређивања оптималне руте.....	39
Слика 11. Први део анкете намењен оцени компетенције стручњака.....	42
Слика 12. Радни стаж испитаника.....	45
Слика 13. Степен образовања испитаника.....	45
Слика 14. Број испитаника са објављеним научним и стручним радовима.....	46
Слика 15. Стручне активности испитаника ван радног места.....	46
Слика 16. Други део анкете намењен вредновању критеријума.....	48
Слика 17. Путна мрежа за реализацију задатка.....	54
Слика 18. Транспортна мрежа на којој треба одредити оптимални пут.....	55
Слика 19. Транспортна мрежа са дефинисаним вредностима грана.....	59
Слика 20. „Најкраћи“ пут од чвора 1 до чвора 16.....	60
Слика 21. Мрежа са унетим удаљеностима у километрима.....	61
Слика 22. Најкраћи пут од чвора 1 до чвора 16.....	61
Слика 23. Оптимална рута за транспорт опасне робе.....	62
Слика 24. Рута са најкраћим растојањем.....	63

СПИСАК ТАБЕЛА

<i>Табела 1. Укупан радни стаж</i>	<i>43</i>
<i>Табела 2. Степен образовања</i>	<i>43</i>
<i>Табела 3. Број објављених научних и стручних радова</i>	<i>43</i>
<i>Табела 4. Стручне активности ван радног места</i>	<i>43</i>
<i>Табела 5. Компетентност испитаника</i>	<i>44</i>
<i>Табела 6. Критеријуми за оптимизацију транспорта опасне робе</i>	<i>49</i>
<i>Табела 7. Одговори испитаника</i>	<i>51</i>
<i>Табела 8. Тежински коефицијенти критеријума појединачно по експертима</i>	<i>51</i>
<i>Табела 9. Ранг критеријума</i>	<i>52</i>
<i>Табела 10. Вредновање критеријума.....</i>	<i>55</i>
<i>Табела 11. Вредност критеријума по гранама</i>	<i>56</i>
<i>Табела 12. Вредности грана.....</i>	<i>58</i>