

МОДЕЛ ПРИМЕНЕ FUZZY ЛОГИКЕ У ПРОЦЕНИ РИЗИКА ПРИ САВЛАЂИВАЊУ ВОДЕНИХ ПРЕПРЕКА У ОДБРАМБЕНОЈ ОПЕРАЦИЈИ КоВ

Дарко И. Божанић, Раде В. Славковић, Самед М. Каровић
Универзитет одбране у Београду, Војна академија

Процена ризика приликом савлађивања водених препрека у одбрамбеној операцији снага Копнене војске значајан је фактор за успешно извршење мисије. Квалитетна процена ризика пружа доносиоцима одлука потпуније сагледавање ситуације и ствара претпоставку за управљање ризицима, као предуслов за успешно савлађивање водених препрека.

Да би процена била квалитетно урађена развијен је fuzzy логички систем којим се скуп релевантних података за процену ризика обрађује са коначним циљем добијања квантитативне вредности ризика. У раду су дефинисани релевантни критеријуми који утичу на процену ризика, а представљају улазне вредности у fuzzy логички систем.

Кључне речи: *fuzzy логика, fuzzy логички систем, процена ризика, савлађивање водених препрека, одбрамбена операција*

Увод

Процес процене ризика је релативно нов концепт који се уводи у праксу у све већи број организационих система. Основни циљ процене ризика је квалитетно управљање ризицима у организационим системима, односно активностима. Иако постоји сагласност да је процена ризика значајан елемент, сам начин спровођења није дефинисан на јединствен начин. Јединственост је постигнута у смислу да је сваки тип организационог система, по питању разматрања ризика, спецификум за себе.

За потребе процене ризика развијен је, и даље се развија, велики број метода и модела, а значајно место заузимају математички модели. Имајући у виду једну од најзначајнијих карактеристика ризика – неизвесност, за процену ризика се све чешће користи fuzzy логика као веома погодна математичка подршка за третирање неизвесности.

Ризик је одувек био саставни део војних операција, али је израда модела за процену ризика још увек у фази развоја. Велики број активности приликом извођења војних операција захтева комплексно сагледавање проблематике процене ризика, израду већег броја модела и дуг период њиховог тестирања. У раду је приказан један математички модел за процену ризика при савлађивању водених препрека у одбрамбеној операцији снага Копнене војске.

Савлађивање водених препрека у одбрамбеној операцији снага Копнене војске

Употреба Војска Србије и њених делова врши се кроз реализацију различитих врста операција. Зависно од вида борбених дејстава, разликују се одбрамбене и нападне операције¹. Одбрамбене операције се примењују у случајевима када непријатељ има иницијативу и настоји да запоседне одређену територију или настоји да се пробије у брањени простор². Оне се планирају, припремају и изводе као борбена дејства, са садржајима: (1) командовање и руковођење, (2) дејства и противдејства и (3) обезбеђења³. У оквиру садржаја дејстава и противдејстава реализују се и инжињеријска и противинжињеријска дејства, а у оквиру реализације противинжињеријских дејстава врши се савлађивање водених препрека.

Савлађивање водених препрека подразумева радњу којом се, у оквиру борбених дејстава, обезбеђује прелазак појединаца и јединица преко природних и вештачких водених препрека, када је њихов обилазак немогућ или нецелисходан, а ради извршења постављеног задатка⁴. Са становишта војне организације, под појмом водене препреке подразумевају се све водене површине које се морају савладавати пловним средствима⁵. Водене препреке у мањој или већој мери утичу на извођење операција, позитивно или негативно, зависно од карактеристика препреке, као и захтева који прате организацију и реализацију операције, а највише на успоравање и каналисање кретања.

Водене препреке савлађују се прелажењем или насилним преласком – форсирањем⁶. Прелажење водене препреке предузима се када је ватрено дејство непријатеља елиминисано на постојећим мостовима или другим уређеним прелазима⁷, односно када супротну обалу не бране непријатељеве снаге⁸. Насилни прелазак водене препреке подразумева да супротну обалу брани непријатељ⁹.

Савлађивање водених препрека у одбрамбеној операцији обично се врши прелажењем, док је њихов насилни прелазак карактеристичнији за нападну операцију. Зависно од начина савлађивања водених препрека, разликују се: (1) место преласка газом, (2) место преласка пливањем, (3) место преласка преко леда, (4) десантно место преласка, (5) скелско место преласка, (6) мосно место преласка и (7) подводно место преласка¹⁰. За потребе рада значајни су скелско и мосно (мостовно) место преласка. Десантно место преласка везује се за насилни прелазак водених препрека, док се остала места преласка веома ретко успостављају, јер захтевају специфичне услове.

¹ Доктрина Војске Србије, Медија центар „ОДБРАНА“, Београд, 2010, стр. 77.

² Исто, стр. 79.

³ Исто, стр. 86.

⁴ Војни лексикон, Војноиздавачки завод, Београд, 1981.

⁵ Пифат, В.: *Прелаз преко река*, Војноиздавачки завод, Београд, 1980, стр. 15.

⁶ Војна енциклопедија, књига 7, Војноиздавачки завод, Београд, 1974.

⁷ Исто.

⁸ Пифат, В., стр. 11.

⁹ Исто.

¹⁰ Исто, стр. 225-226.

Под местом преласка подразумева се део водене препреке, обале и заобаља на сопственој и супротној обали, који ће се користити приликом савлађивања водене препреке¹¹. На скелском месту преласка (СМП) превозење јединица, борбене и остале технике врши се скелама, док се на мосном месту преласка (ММП) омогућује непрекидно кретање јединица и технике преко водене препреке њеним премошћавањем¹². Мосно и скелско место преласка су међусобно повезани, јер се ММП начелно развија из СМП (односно из десантног места преласка). Такође, ММП се начелно успоставља ноћу, док се дању мост расклапа и делови користе за СМП или се маскирају уз обалу до поновног успостављања мосног места преласка¹³. За израду скела, односно мостова, користе се постојећи формацијски елементи из Комплекта понтонског моста ПМ-М-М71 (ПМ-М-71А), који се налазе у саставу понтонирских јединица Војске Србије, односно два понтонирска батаљона стационирана у Шапцу и Новом Саду¹⁴. У одбрамбеној операцији понтонирски батаљон се употребљава на уређењу и одржавању скелских и мосних места преласка са задатком да обезбеди брз прелазак јединица преко водених препрека.

Савлађивање водених препрека представља значајну борбену радњу. Због тога се Војска Србије опрема специјалним средствима (понтонирска, амфибијска, десантна) и формира специјализоване саставе за савлађивање водених препрека (понтонирске јединице). Значај се огледа и у миру, где се поред константних захтева обуке, понтонирске јединице већ годинама уназад ангажују на организацији прелажења водених препрека у оквиру треће мисије Војске Србије.

Појмовно одређење ризика

Ризик је централни појам области менаџмента ризика (Risk Management). Али, и поред области која се бави феноменом ризика, овај појам се још увек дефинише на различите начине:

- стање у којем постоји могућност штетног одступања у односу на жељени исход¹⁵, односно девијација од очекиваног¹⁶,
- могућност губитка, вероватноћа губитка, неизвесност, одступање стварних од очекиваних резултата или вероватноћа било ког исхода који није очекиван¹⁷,
- неизвесност остваривања губитка¹⁸,

¹¹ Исто, стр. 225.

¹² Исто, стр. 231-233.

¹³ Исто, стр. 232.

¹⁴ Војска Србије – званични веб сајт, доступно на: <http://www.vs.rs> (05. август 2014).

¹⁵ Vauglan, E.J.: *Risk Management*, John Wiley & Sons, New York, 1997, у: Кековић, З. и др: *Процена ризика у заштити лица, имовине и пословања*, Центар за анализу ризика и управљање кризама, Београд, 2011, стр. 25.

¹⁶ Каровић, С. и Комазец, Н.: „Управљање ризицима као предуслов интегрисаног менаџмент система у организацији“, *Војнотехнички гласник*, бр. 3/2010, стр. 149.

¹⁷ Vaughan, E. и Vaughan, T.: *Основе осигурања и управљање ризицима*, МАТЕ, Загреб, 2011, у: Авакумовић, Ч. и др.: „Менаџмент ризика“, *Зборник радова са међународне научне конференције МЕНАЏМЕНТ 2010*, Крушевац, 2010, стр. 387.

– свака могућност у конкретном систему која са одређеном вероватноћом може да изазове неочекивану промену квалитета, односно промену или губитак система¹⁹,

– изложеност могућностима економског или финансијског губитка или добитка, физичког оштећења, повреда или кашњења као последица несигурности у вези са спровођењем акције²⁰ итд.

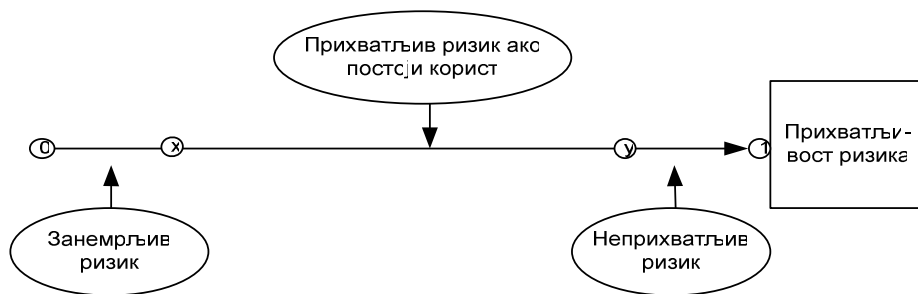
Појам ризика често се објашњава преко стања окружења у којем се посматрани догађај реализује²¹:

– стање извесности односно одређености када постоји могућност да се изабере конкретна алтернатива, одакле следи познат исход;

– стање ризика у којем се приликом избора конкретне алтернативе може догодити било који исход из скупа могућих исхода и при чему су вероватноће сваког исхода познате;

– стање неизвесности у којем се приликом избора конкретне алтернативе може догодити било који исход из скупа могућих исхода, а при чему вероватноће појаве исхода нису познате.

У менаџменту ризика често се прибегава оцени прихватљивости, односно неприхватљивости ризика. Користан пример ове оцене су смернице ALARP (As Low As Reasonably Practicable) помоћу којих се дефинишу три степена ризика: (1) занемарљив ризик – прихватљив ризик; (2) ризик који је прихватљив само ако од тога постоји корист и (3) ризик који не може бити прихваћен – неприхватљив ризик без обзира на то о каквој је ситуацији реч²². Овакву квантификацију ризика могуће је приказати графички (слика 1) на скали прихватљивости ризика од нула до један, где величина нула одговара минималном, а величина један максималном ризику.



Слика 1 – Графички приказ ризика у односу на степен прихватљивости

¹⁸ Авакумовић, Ч. и др.: „Менаџмент ризика“, *Зборник радова са међународне научне конференције МЕНАЏМЕНТ 2010*, Крушевац, 2010, стр. 387.

¹⁹ Кековић, З. и др: *Процена ризика у заштити лица, имовине и пословања*, Центар за анализу ризика и управљање кризама, Београд, 2011, стр. 25.

²⁰ Чапман, С.В. и Коопер, D.F.: „Risk analysis: testing some prejudices“, *European Journal of Operational Research*, бр. 14/1983 у: Sotoudeh, G. и др: „A Fuzzy MCDM for Evaluating Risk of Construction Projects“, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, бр. 12/2011. стр 162.

²¹ Кековић, З. и др, 2011, стр. 26.

²² Исто, стр. 45-46.

Ризик се у војним операцијама у великој мери везује за његово одређење у другим областима људског деловања. Али, ризик у војним операцијама има и своје значајне специфичности, које га раздвајају од других. Основна карактеристика те врсте ризика везана је за његово окружење, односно операцију. Војне операције чврсто су повезане са постојањем ризика, он је њихов саставни део и стални пратилац. Приликом извођења операција постојање ризика је категорија која се подразумева. У практичном смислу, тешко је и замислити реализацију било које војне операције без ризика. Ризик је од фундаменталног значаја за извођење операције, јер команданти у операцији балансирају/праве равнотежу између ризика и тријумфа – победе у операцији²³.

Команданти и командири су у току извођења операција скоро непрекидно у ситуацијама да доносе одлуке различитог значаја где процена ризика по људе, технику, као и крајњи исход операције, представља базу односно полазну тачку у доношењу одлука. Због такве ситуације стандардизација и институционализација техника, алата и процедура за процену ризика незаобилазан је елемент за успешно доношење одлука²⁴. На основу процењеног ризика могуће је вршити његово смањење (енгл. *mitigation*) или елиминисање, односно управљање ризиком током извршавања оперативних задатака. Процена ризика и управљање ризиком имају своје место у скоро свакој фази процеса доношења одлука у операцијама.

Fuzzy логика и fuzzy скупови

Насупрот конвенционалној логици у fuzzy логици није прецизно дефинисана припадност једног елемента одређеном скупу, те је због тога јако блиска људској перцепцији²⁵. У основи, то је вишевредносна логика која допушта средње вредности дефинисане између традиционалних ставова: да/не, истинито/неистинито, црно/бело, итд. Она користи искуство човека – стручњак у форми лингвистичких „Ако-Онда” правила, а механизам апроксимативног резонувања рачуна управљачку акцију за конкретни случај²⁶. У овом раду алгоритам апроксимативног резонувања користиће се за приказ утицаја улазних критеријума на одређивање величине ризика.

Fuzzy логика омогућава да се наизглед непрецизне информације користе у многим научним областима. На слици 2 илустрована је идеја да се уместо прецизних и ригорозних описа сложених појава примени сасвим супротан приступ и дозволи да оне буду непрецизне.

При дизајнирању fuzzy скупова прво питање је како изабрати одређену функцију припадности $\mu_A(x)$. Ова функција показује колико $x \in X$ испуњава услов припадности скупу A . У класичној теорији она може да има једну од две вредности,

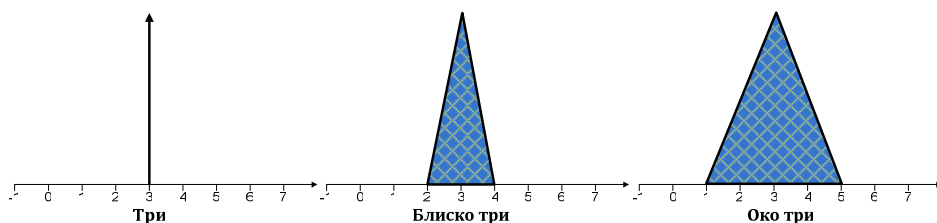
²³ Taner, J. C.: *Operational list management at the operational level of War*, Naval War College, Newport, 1997, доступно на: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a328149.pdf> (10. новембар 2013)

²⁴ FM 5-19 *Composite Risk Management*, Headquarters Department of the Army, 2006, стр. iv.

²⁵ Памучар Д. и др: „Modelling of the fuzzy logical system for offering support in making decisions within the engineering units of the Serbian army”, *International journal of the physical sciences*, бр. 3/2011а, стр. 594.

²⁶ Божанић, Д. и Памучар, Д.: „Вредновање локација за успостављање мосног места преласка преко водених препрека применом fuzzy логике”, *Војнотехнички гласник*, бр. 1/2010, стр. 131.

1 и 0, тј. елемент припада или не припада скупу A . У теорији fuzzy скупова функција припадности може да има било коју вредност између 0 и 1. Уколико је $\mu_A(x)$ веће, утолико има више истине у тврдњи да елемент x припада скупу A , односно елемент x у већем степену испуњава услове припадности скупу A .

Слика 2 – Fuzzy број²⁷

За функцију припадности мора да важи $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$, за свако $x \in A$, тј. $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$.

Формално, fuzzy скуп A се дефинише као скуп уређених парова

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (1)$$

X је универзални скуп или скуп разматрања на којем је дефинисан fuzzy скуп A , а $\mu_A(x)$ је функција припадности елемента x скупу A . Сваки fuzzy скуп је комплетно и јединствено одређен својом функцијом припадности²⁸.

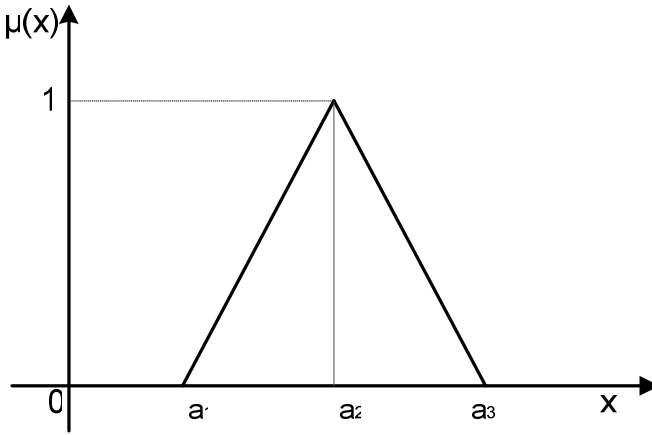
Према fuzzy теорији избор функције припадности, односно облика функције и ширине интервала поверења најчешће се врши на основу субјективне процене или искуства. Најчешће се користе троугласти fuzzy бројеви (слика 3). Поред троугластих користе се и трапезоидни fuzzy бројеви, Гаусове криве, итд.

Троугласти fuzzy бројеви најчешће се приказују у облику $A = (a_1, a_2, a_3)$, где a_2 представља вредност где функција припадности fuzzy броја има вредност 1.0, a_1 представља леву дистрибуцију интервала поверења и a_3 десну дистрибуцију интервала поверења fuzzy броја A ²⁹.

²⁷ Памучар, Д. и др.: *Fuzzy logic in decision making process in the Armed Forces of Serbia*, LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 20116, стр. 10.

²⁸ Zadeh, L.: „Fuzzy sets“, *Information and control*. бр. 8/1965, стр 338-353.

²⁹ Памучар, Д.: „Fuzzy-DEA model for measuring the efficiency of transport quality“, *Војнотехнички гласник*, бр. 4/2011, стр 45.



Слика 3 – Троугласти fuzzy број A

Функција припадности fuzzy броја A дефинише се као:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x < a_2 \\ 1, & x = a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

За дефазификацију, односно пресликавање вредности fuzzy броја $A = (a_1, a_2, a_3)$ у реалан број користе се бројне методе³⁰.

Опис модела – fuzzy логичког система

Лица која врше процену ризика при савлађивању водених препрека обично неће располагати великим бројем нумеричких података. Овај закључак намеће се, пре свега, због чињенице да не постоји велика количина историјских података на основу којих се може доћи до адекватне процене ризика. Из тога произилази потреба прикупљања искустава, знања и процена лица која се овом проблематиком баве у теоријском и практичном смислу. С обзиром на то да се у том случају не може говорити о „тврдим“ ставовима, већ о „релативним“ и у одређеној мери отвореним тврдњама намеће се примена посебних математичких метода, као што је теорија

³⁰ Herrera, F. и Martínez, L.: „An Approach for Combining Numerical and Linguistic Information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in Decision Making“, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, бр 8/2000, стр 539-562.

fuzzy скупова и fuzzy логика. Теорија fuzzy скупова и fuzzy логика представљају не-заменљиву технику у третирању неизвесности, субјективности и неодређености, односно при превођењу замагљених утисака у нумеричке вредности³¹.

Место fuzzy логичког система у процени ризика

До сада није развијен јединствен приступ за анализу, идентификацију, процену и управљање ризиком, већ се пракса обично ослања на избор најпогоднијег модела, односно технике из већ постојећег скупа, која ће се у конкретной ситуацији примењивати или можда на развијање новог модела којим се постиже најприближније одређење/дефинисање ризика. Познат је и разрађен велики број метода за процену опасности и ризика који се користе у различитим областима, као што су: прелиминарна анализа опасности (РНА), метода брзог рангирања ризика, студија опасности од материјала и технолошких процеса (HAZOP), стабло отказа и стабло догађаја, анализа опасности (HAZAN), анализа грешака/отказа и њихових утицаја (FMEA) и друге³².

У оквиру сваке методе дефинишу се одређени кораци. Најједноставнији модел садржи три корака: идентификацију опасности, процену вероватноће и процену последица³³. Већина аутора обично не раздваја процену ризика и управљање ризицима, већ их посматра као композитну целину – тзв. ризик менаџмент³⁴. Тако се према правилу америчке војске³⁵ у процени и управљању ризицима истиче пет корака: (1) идентификација опасности, (2) процена опасности ради дефинисања нивоа ризика, (3) развој контролних мера и доношење одлука, (4) имплементација контролних мера и (5) надзор и евалуација примењених мера. Џонсон (Johnson)³⁶ издваја шест корака: (1) идентификовање потенцијалних опасности или претњи које могу да доведу до оперативних ризика, (2) процену ризика идентификовањем последица, вероватноћа као и стања потенцијалне рањивости, (3) рангирање ризика, (4) идентификовање контролних мера ради ублажавања последица и вероватноћа неприхваљивог ризика, (5) спровођење и праћење ефикасности контролних мера и (6) повратак на корак 1. Вујовић³⁷ истиче следеће кораке: (1) идентификацију ризика, (2) анализу ризика, (3) процену ризика, (4) избор методе и инструмената за управљање ризиком и (5) примену изабране методе и њену процену и поновно испитивање.

Као што се може видети, постоје значајне разлике између модела, што указује на то да се ради о комплексном и још увек недовољно испитаном проблему, чијем се решавању приступа из више углова. Са друге стране, могу се пронаћи и сличности које до-

³¹ Памучар, Д. и др.: „Дизајнирање организационе структуре управних органа логистике коришћењем fuzzy приступа“, *Војнотехнички гласник*, 3/20126, стр. 147.

³² Исто, стр. 191.

³³ Шећеров, П.: *Модел процене ризика и успостављање система интегрисане заштите на регионалном коридору 10*, докторска дисертација, Факултет безбедности, Београд, 2010, стр. 40.

³⁴ Gohar, A.M. и др.: „A Fuzzy MCDM for Evaluating Risk of Construction Projects“, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, бр. 5/2011, стр. 163.

³⁵ FM 5-19 *Composite Risk Management*, 2006, стр. 1-3.

³⁶ Johnson, C. W.: *Military Risk Assessment: From Conventional Warfare to Counter Insurgency Operations*, University of Glasgow Press, Glasgow, Scotland, 2012, стр. 12.

³⁷ Вујовић, Р.: *Управљање ризицима и осигурање*, Универзитет Сингидунум, Београд, 2009, стр. 98.

лазе од карактеристика самог проблема. Сви модели у својим корацима предвиђају процену ризика (рангирање ризика), било да се она заснива на претходној процени хазарда, опасности, вероватноћа, последица или неких других елемената. У конкретном случају, за процену ризика при савлађивању водених препрека у одбрамбеној операцији снага КоВ биће коришћен fuzzy логички систем (ФЛС). Он представља само корак у целокупном процесу риск менаџмента. Овај ФЛС претходи управљању ризиком, јер би се на бази излазних резултата предузимале мере за смањење ризика (третирање или ублажавање ризика³⁸). Са друге стране, овом моделу претходи идентификовање опасности (односно ризика, зависно од избора метода риск менаџмента).

Fuzzy логички систем састоји се од улазних података, односно дефинисања појаве по одређеним критеријумима, fuzzy логичке компоненте модела, тј. низа математичких радњи којима се долази до излазних података, који представљају основу за решавање описаног проблема и излазне компоненте.

Имајући у виду да модел никада неће бити верна слика реалности,³⁹ овај модел биће само помоћ доносиоцима одлуке. Сходно томе, доносиоци одлуке ће у одређеним ситуацијама, без обзира на преференцију одлуке, донети своја решења која не морају да се слажу са подацима добијеним на излазу модела.

Избор критеријума за израду модела

За дефинисање улазних критеријума могу се користити већ познате и проверене методе. За потребе овог рада, анализом докумената/текстова, извршено је издвајање кључних критеријума који утичу на процену ризика (табела 1).

Табела 1 – Критеријуми који утичу на идентификацију и рангирање ризика

Аутори	Учесталост	Критичност	Последице	Вероватноћа	Рањивост (стање система)	Могућност супротстављања	Штета
Каплан и Гаррик ⁴⁰			+	+			
МакГилл и Ајуб ⁴¹			+	+	+		
Кековић и др. ⁴²	(+)	(+)	+	+	(+)		(+)

³⁸ Кековић, З. и др.: „Приступ методологији интегралног управљања ризиком у организацији“, *Војно дело*, бр. 3/2009, стр. 247 и 253.

³⁹ Чупић, М. и Сукновић, М.: *Одлучивање*, Факултет организационих наука, Београд, 2010, стр. 36.

⁴⁰ Каплан, С. и Гаррик, В. Ј.: „On The Quantitative Definition of Risk“, *Risk Analysis*, бр. 1/1981, стр. 13.

⁴¹ МакГилл, В. и Ајуб, М. В.: „Multicriteria Security System Performance Assessment Using Fuzzy Logic“, *The Journal of Defense Modeling and Simulation (JDMS): Applications, Methodology, Technology*, бр. 4/2007, стр. 356-358.

⁴² Кековић, З. и др., 2011, стр. 105. Аутори истичу два елемента за процену ризика вероватноћи и последице. Прорачун вероватноће врше на основу учесталости и рањивости, што указује на постојање одређених података о догађајима из прошлости. Процену последица врше на основу критичности и штете.

Аутори	Учесталост	Критичност	Последице	Вероватноћа	Рањивост (стање система)	Могућност супротстављања	Штета
Klinke и Renn ⁴³			+	+			
ISDR ⁴⁴	+		+	+	+		
Johns ⁴⁵			+	+	+	+	
FM 5-19 ⁴⁶			+	+			
Johnson ⁴⁷			+	+			

Из табеле 1 могуће је извести одређене закључке везане за процену ризика. Сви аутори при разматрању ризика узимају у обзир могуће последице и вероватноћу да до одређеног „лошег“ догађаја дође, што ова два критеријума препоручује као незаобилазне у процени ризика. Део аутора у разматрање ризика укључује и рањивост, чиме указује на то да питање ризика није могуће раздвајати одвојено од система. Укључивање рањивости у процену ризика је новија категорија, али још увек није стално присутно у овој процени. Један аутор истиче учесталост догађаја, што указује на постојање историјских података о ризицима у датим ситуацијама, што у конкретном случају није могуће адекватно применити. Други аутор истиче могућност супротстављања ризику. Овај критеријум се у одређеној мери може схватити и као део критеријума рањивости, јер је она мања ако је могућност за смањење ризика већа, и обрнуто – ако не постоје адекватни одговори на постојећи ризик, рањивост система је повећана.

Може се закључити да се при дефинисању критеријума за процену нивоа ризика не би смело заобићи следеће: вероватноћа наступања опасности, последице које опасност може да изазове и рањивост система. Сходно томе, један улазни критеријум у ФЛС представљаће „вероватноћа наступања одређене опасности“. Овим критеријумом процењиваће се у којој мери је могуће (у ком проценту) да дође до настанка штете/негативних последица, односно до испољавања одређене опасности. Следећи критеријум је „стање система“. Кроз овај критеријум разматра се стање система у односу на потенцијалну опасност, чиме се разматра и рањивост система, као и процена могућности за супротстављање система у случају настанка опасности.

Када је реч о последицама које одређена опасност може да изазове, значајно је поново истаћи да је ризик саставни део војних операција, те да је граница прихватљивости/неприхватљивости ризика знатно померена у односу на разматрање ове проблематике у другим организационим системима. Користећи поставке које су дате у Упутству о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у

⁴³ Klinke A. и Renn O.: *Challenges of Risk Evaluation, Risk Classification, and Risk Management*, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden, Württemberg, 1999, стр. 11.

⁴⁴ ISDR: *Living with Risk*, United Nations, 2004 II Volumes, стр. 6.

⁴⁵ Johns, T. L.: „Risk analysis in loss prevention research“, *Security Journal*. бр. 3/2011, стр. 226–227.

⁴⁶ FM 5-19 *Composite Risk Management*, 2006, стр. 1-7 – 1-9.

⁴⁷ Johnson, C. W., 2012, стр. 11.

ванредним ситуацијама⁴⁸, последице ће бити приказане преко два појма – штете и критичности. То је значајно, јер се одвајају негативни утицаји на сам исход операције од штете коју опасност може да нанесе. Стога се уместо последица издвајају два критеријума – критеријум „критичност”, под којом се подразумева степен утицаја који опасност испољава на саму активност, односно на остваривање циља савлађивања водених препрека, а самим тим и операције – важност опасности у остваривању циљева операције и критеријум „негативне последице⁴⁹”, под којом се подразумевају људски и материјални губици које потенцијална опасност може да изазове.

У конкретном моделу ризик се процењује за сваку опасност посебно, те не постоји повезујућа компонента између опасности. Због тога се уводи и додатни критеријум „способност за генерисање других опасности”.

Процена ризика при савлађивању водених препрека у моделу вршиће се на основу описаних критеријума: K_1 – вероватноћа наступања одређене опасности; K_2 – критичност; K_3 – стање система; K_4 – негативне последице и K_5 – способност за генерисање других опасности. Излазни критеријум представљаће „степен ризика”. Скуп улазних критеријума K_i ($i=1,2,3,4,5$) чине два подскупа:

K^+ – подскуп критеријума бенефитног типа, што значи да је већа вредност критеријума пожељнија, тј. боља (критеријум K_3) и

K^- – подскуп критеријума трошковног типа, што значи да је мања вредност пожељнија, тј. боља (критеријум K_1, K_2, K_4 и K_5).

Критеријум K_1 представљен је нумерички са интервалом поверења [0,100%], док су критеријуми K_2, K_3, K_4 и K_5 приказани као лингвистички дескриптори са опсегом интервала поверења [0,1]. Вредност излазне променљиве одређивање степена ризика налази се у интервалу [0, 1].

Моделовање fuzzy логичког система

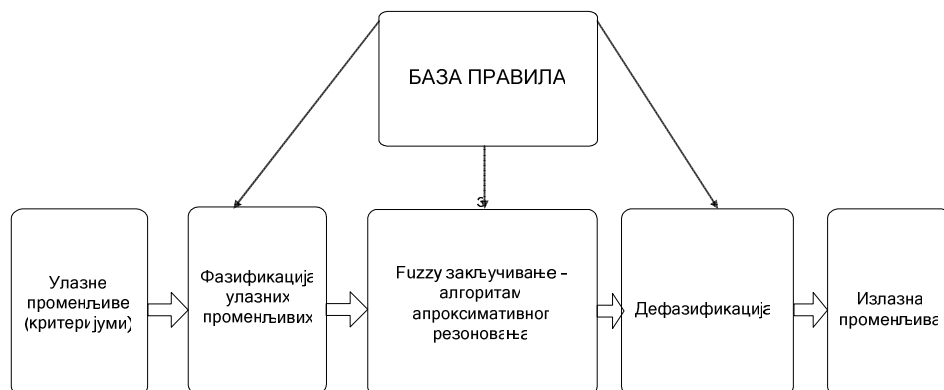
На основу описаних основа функционисања и дефинисаних критеријума могуће је извршити моделовање ФЛС, како би се дефинисали сви његови елементи (слика 4). До коначног решења долази се кроз неколико фаза које су сличне фазама општег моделовања: дизајн система, оптимизација и примена⁵⁰. Све те фазе су више или мање сложене, а у fuzzy логици могу се посебно именовати као:

- (1) анализа проблема,
- (2) дефинисање лингвистичких вредности,
- (3) избор функција припадности,
- (4) формирање базе правила,
- (5) избор метода закључивања и дефазификације,
- (6) анализа осетљивости.

⁴⁸ Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама, *Службени гласник Републике Србије*, 96/2012.

⁴⁹ Назив критеријума није „штета”, како је то Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама предвидело, већ је узет назив „негативне последице”, јер би непримерено било да се људски губици изражавају као „штета”.

⁵⁰ Памучар, Д. и др., 2011б, стр. 10.



Слика 4 – Приказ елемената fuzzy логичког система

(1) **Анализа проблема** описана је у претходним целинама.

(2) **Дефинисање лингвистичких вредности.** Лингвистичка променљива, као што се и назире из њеног назива, узима вредности из језика. Лингвистичке променљиве представљене су помоћу fuzzy скупова. Овај систем је замишљен са пет улазних и једном излазном променљивом. Улазне променљиве K_2, K_3, K_4 и K_5 представљене су лингвистичким изразима. Вредности улазних променљивих описане су скупом лингвистичких дескриптора, $S=\{l_1, l_2, l_3, \dots, l_j\}$, и $\epsilon N=\{0, \dots, T\}$, где је T укупан број лингвистичких дескриптора, $T=9$. Лингвистичке варијабле представљене су троугластим fuzzy бројем који је дефинисан као (a_1, a_2, a_3) .

Лингвистички дескриптори имају различите вредности за бенефитне и трошковне критеријуме (табела 2). Дакле, скуп S лингвистичких дескриптора представљен је као:

$$S=\{l_1=U, l_2=VL, l_3=FL, l_4=L, l_5=M, l_6=H, l_7=MH, l_8=VH, l_9=P\} \quad (3)$$

Табела 2 – Вредности лингвистичких дескриптора

Бенефитни критеријум (K_3)	Вредности	Трошковни критеријуми (K_2, K_4 и K_5)
U - unessential	(0, 0, 0.125)	P - perfect
VL - very low	(0, 0.125, 0.25)	VH - very high
FL - fairly low	(0.125, 0.25, 0.375)	MH - medium high
L - low	(0.25, 0.375, 0.5)	H - high
M - medium	(0.375, 0.5, 0.625)	M - medium
H - high	(0.5, 0.625, 0.75)	L - low
MH - medium high	(0.625, 0.75, 0.875)	FL - fairly low
VH - very high	(0.75, 0.875, 1)	VL - very low
P - perfect	(0.875, 1, 1)	U - unessential

За дефазификацију fuzzy бројева у реалне бројеве коришћена је метода центра гравитације, према следећем изразу⁵¹:

$$A = [(\beta_i - \alpha_i) + (\alpha_i - \alpha_i)] \cdot 3^{-1} + \alpha_i \quad (4)$$

У претходни израз могуће је увести степен уверености доносиоца одлуке λ ($\lambda \in [0, 1]$), где би највећа увереност доносиоца одлуке била означена $\lambda=1$, а најмања са $\lambda=0$. Притом, дефазификација у реалне бројеве вршила би се по следећем⁵²:

$$A = [\lambda\beta_i + \alpha_i + (1-\lambda)\alpha_i] \cdot 2^{-1} \quad (5)$$

Објашњени процес претварања лингвистичких дескриптора упућује на то да се ради о одређеном парадоксу⁵³: fuzzy логика третира системе са непрецизним границама, а у примени ФЛС захтевају се прецизни бројчани улази и добијају прецизни излази (реални бројеви). Наиме, систем се квалитативно описује коришћењем лингвистичких променљивих у одређеном броју правила, чиме се избегава да се за сваку бројчану вредност везује одређена математичка формула којој се придружује одређена бројчана вредност излаза, што је посебно значајно за системе о којима се мало зна. Fuzzy логика обезбеђује математички апарат који је позадина непрецизног квалитативног описа и који у неколико фаза пресликава улазне променљиве у излазне.

(3) Избор функција припадности. За све улазе и излазе прво је потребно одредити број и тип функција припадности. Већи број функција припадности повлачи повећање броја правила, што може отежати подешавање система. Са друге стране, смањење броја функција припадности може се одразити на квалитет описа и прецизност система. Због тога се најчешће почиње са конструисањем система са најмањим бројем функција припадности, са којима је могуће описати променљиву. За пројектовање овог система као функције припадности изабране су троугаоне функције. Улазне променљиве дефинисане су са две до четири функције припадности (слика 5), односно:

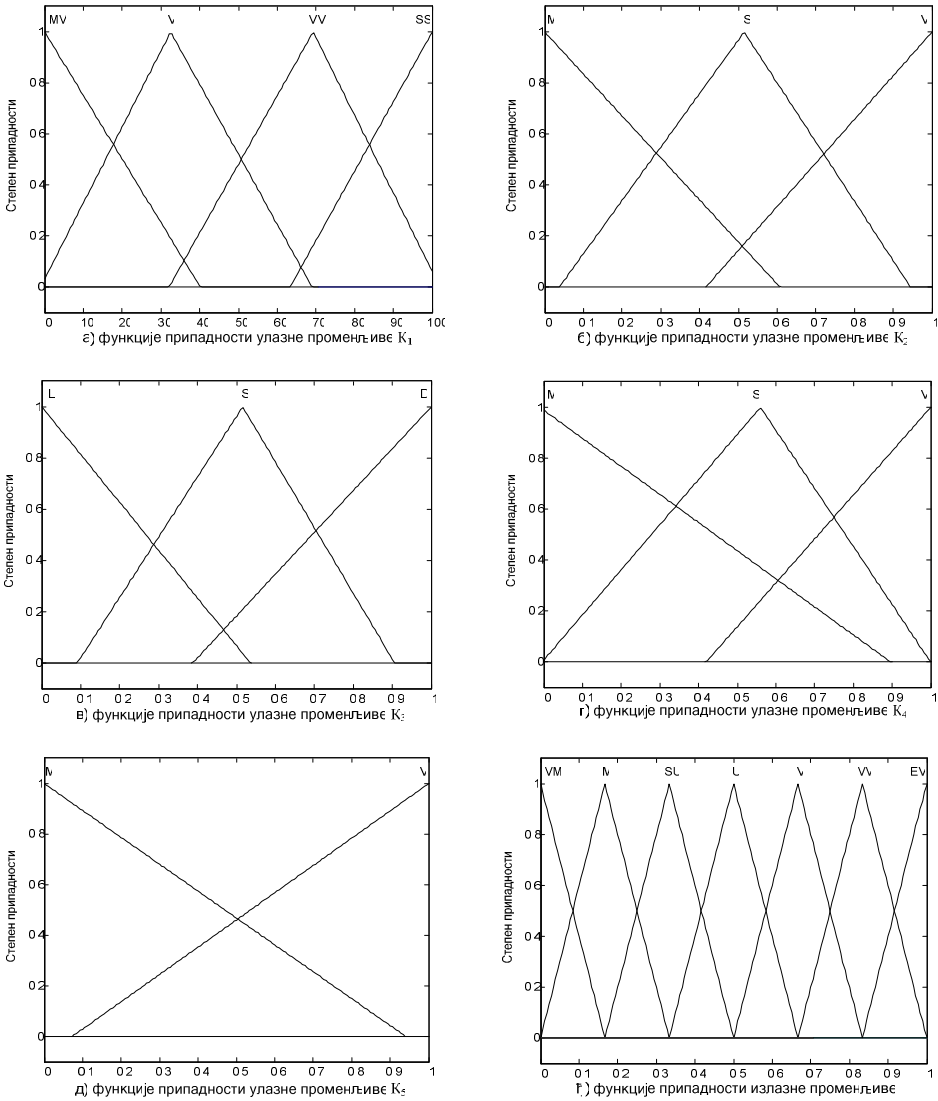
- K_1 са четири функције припадности: мало вероватно, вероватно, веома вероватно и скоро сигурно (слика 5.а);
- K_2 са три функције припадности: мала, средња и велика (слика 5.б);
- K_3 са три функције припадности: лоше, средње и добро (слика 5.в);
- K_4 са три функције припадности: мале, средње и велике (слика 5.г) и
- K_5 са две функције припадности: мала и велика (слика 5.д).

⁵¹ Памучар, Д. и др.: „Modification of the dynamic scale of marks in analytic hierarchy process (AHP) and analytic network approach (ANP) through application of fuzzy approach”, *Scientific Research and Essays*, 1/2012a, стр. 27.

⁵² Исто.

⁵³ Митровић, С.: *Аутоматско гаражирање робота HEMISSON применом fuzzy логике*, магистарски рад, Електротехнички факултет, Београд, 2006, стр. 21.

Изразна променљива – степен ризика дефинисана је са седам функција припадности: врло мали, мали, средње умерен, умерен, велики, врло велики и екстремно велики (слика 5. њ).



Слика 5 – Функције припадности улазних променљивих и изразне променљиве

Параметри функција припадности улазних променљивих приказани су у табели 3. Функције припадности излазне променљиве добијене су равномерном расподелом.

Табела 3 – Параметри функција припадности улазних променљивих

Функција припадности/ улазна променљива	MF 1	MF 2	MF 3	MF 4
K ₁	(-33.3, 0, 40.1)	(-1.06, 32.48, 68.98)	(32.1, 69.3, 102)	(63.1, 99.7, 133)
K ₂	(-0.4, 0, 0.61)	(0.04, 0.51, 0.94)	(0.42, 1, 1.4)	-
K ₃	(-0.4, 0, 0.54)	(0.09, 0.51, 0.9)	(0.39, 1, 1.4)	-
K ₄	(-0.41, -0.01, 0.89)	(0, 0.56, 1)	(0.42, 1, 1.39)	-
K ₅	(-1, 0, 0.94)	(0.07, 1, 2)	-	-

(4) Формирање базе правила. Као спона између улаза и излаза fuzzy система користе се лингвистичка правила. Знање експерта о процесу може се изразити помоћу одређеног броја лингвистичких правила речима говорног језика. Преко правила, знање у домену експерата уграђује се у fuzzy логичком систему. Када је реч о сложеним системима, један од великих проблема јесте чињеница да не постоји стандардна и систематична метода за трансформацију практичног знања или искуства у fuzzy правила. Такође, не постоји ни општа процедура за избор оптималног броја правила, пошто велики број фактора утиче на такву одлуку, а што је важно за брзину рада система⁵⁴.

Укупан број правила зависи од броја функција припадности улазних променљивих и може се добити према изразу:

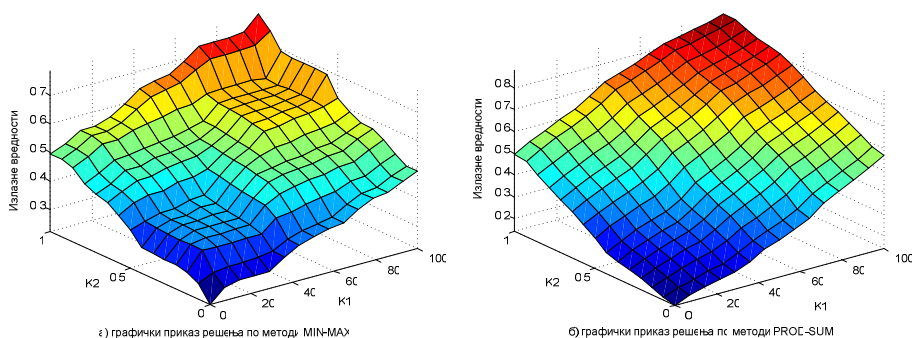
$$V_p = \prod_{i=1}^n k_{X_i} \tag{6}$$

где V_p представља број правила, а k_{X_i} број функција припадности за сваку улазну променљиву (X_i). У конкретном случају дефинисано је 216 правила. Она су дефинисана применом методе агрегације тежина премиса правила⁵⁵.

⁵⁴ Божанић, Д. и Памучар, Д., 2010, стр. 140.

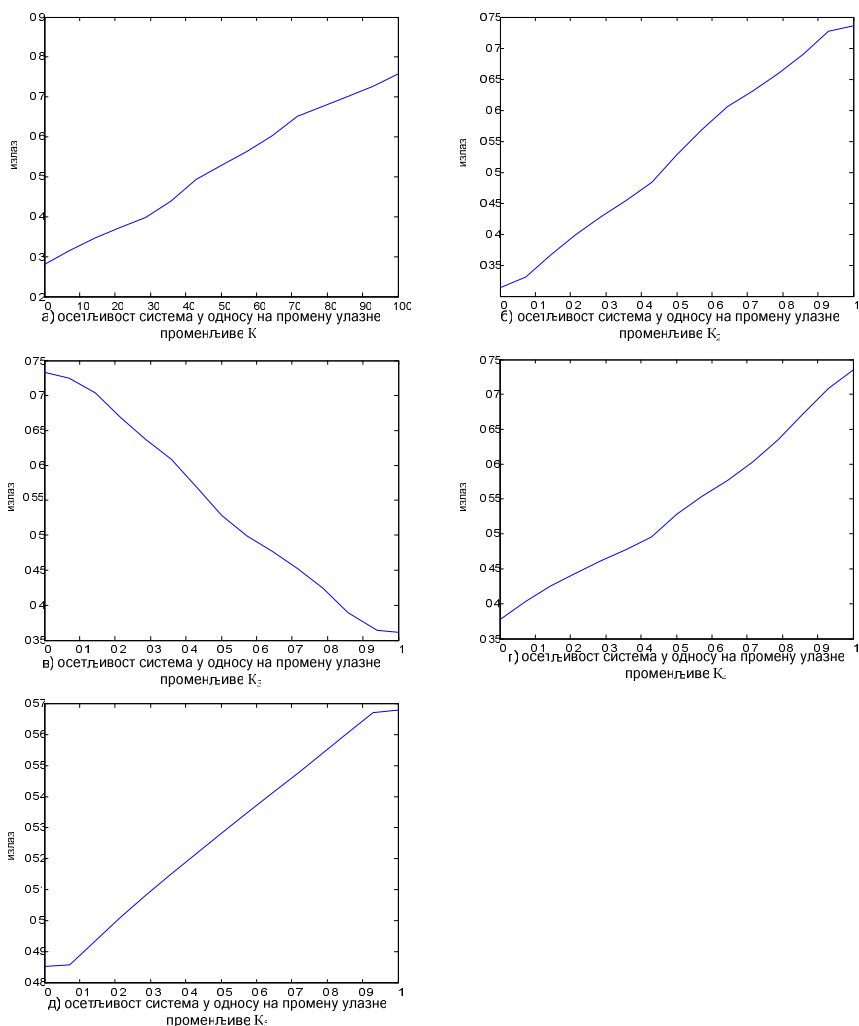
⁵⁵ Више о овој методи може се видети у Божанић Д. и Памучар Д.: „Израда базе правила fuzzy логичког система за подршку одлучивању агрегацијом тежина премиса правила”, *Техника*, бр. 1/2014, стр. 129-138.

5) Избор метода закључивања и дефазификације. У почетној фази израде ФЛС коришћена је MIN-MAX метода директног закључивања. Овај метод је уобичајен избор у случају када није битно да се управља читавим интервалом поверења излазне променљиве. Један од основних захтева при изради било је постизање задовољавајуће осетљивости система. Међутим, и након подешавања функција припадности, изабрани метод није дао одговарајући резултат (слика 6.а), јер су се јавили делови у којима ФЛС није реаговао на улазне промене. Због тога се прешло на методу PROD-SUM (слика 6.б.). За методу дефазификације изабрана је метода центра гравитације, као уобичајена и погодна за израду ФЛС, јер осигурава потребну континуираност и постепеност излаза.



Слика 6 – Графички приказ скупа могућих решења применом различитих метода закључивања

(6) Анализа осетљивости је логичан корак било ког математичког модела за подршку одлучивању. На слици 7. дат је приказ појединачног утицаја сваке улазне променљиве на излазну вредност. Са слика се може закључити да при мањим променама улазних променљивих долази до мањих промена излазне променљиве. Утицај улаза на излаз нема линеаран карактер, што и јесте основна предност примене ФЛС у подршци одлучивању.



Слика 7 – Графички приказ осетљивости система при променама улазних променљивих

Тестирање fuzzy логичког система

Практична примена је логична фаза у животном циклусу модела. Модел треба применити и, по потреби, извршити одређене корекције, измене или побољшања⁵⁶. За тестирање описаног модела коришћени су илустративни подаци који

⁵⁶ Памучар, Д.: „Примена fuzzy логике и вештачких неуронских мрежа у процесу доношења одлуке органа саобраћајне подршке”, *Војнотехнички гласник*, бр. 3/2010, стр. 131.

описују десет опасности. Наведене опасности нису узете са „терена“, јер би такав рад захтевао првобитно постављање ситуације са свим елементима борбеног, односно оперативног распореда. Карактеристике предложених опасности приказане су у табели 4.

Табела 4 – *Опис опасности*

Критеријуми/ опасности	K ₁	K ₂	A ⁵⁷	K ₃	A	K ₄	A	K ₄	A
Опасност 1	20%	M	0,5	M	0,5	H	0,375	FL	0,75
Опасност 2	80%	L	0,625	MH	0,75	L	0,625	M	0,5
Опасност 3	90%	M	0,5	MH	0,75	H	0,375	M	0,5
Опасност 4	15%	MH	0,25	M	0,5	MH	0,25	H	0,375
Опасност 5	50%	FL	0,75	FL	0,25	M	0,5	M	0,50
Опасност 6	70%	H	0,375	FL	0,25	VH	0,125	H	0,375
Опасност 7	35%	VH	0,125	VH	0,875	MH	0,25	VL	0,875
Опасност 8	40%	L	0,625	H	0,625	H	0,375	L	0,625
Опасност 9	75%	MH	0,25	H	0,625	M	0,5	VH	0,125
Опасност 10	65%	VL	0,875	FL	0,25	VL	0,875	M	0,5

Након примене ФЛС добијени су степени ризика за сваку опасност (табела 5).

Табела 5 – *Степен ризика*

Опасност	Степен ризика	Ранг опасности зависно од степена ризика
Опасност 1	0.3444	8.
Опасност 2	0.6993	3.
Опасност 3	0.6027	5.
Опасност 4	0.1984	9.
Опасност 5	0.7412	2.
Опасност 6	0.6133	4.
Опасност 7	0.1674	10.
Опасност 8	0.4717	6.
Опасност 9	0.4595	7.
Опасност 10	0.8881	1.

⁵⁷ У колонама „А“ налазе се вредности добијене након дефазификације, применом израза (6). За све елементе узет је степен уверености доносиоца одлуке $\lambda=1$.

Најризичнија опасност је она која задовољава услов:

$$f_{V_i} = \max(f_{V_i}), i = 1, \dots, 10 \quad (7)$$

и обрнуто, најмање ризична је опасност која задовољава услов:

$$f_{V_i} = \min(f_{V_i}), i = 1, \dots, 10 \quad (8)$$

Поред рангирања опасности и доделе степена ризика свакој од њих, могуће је дефинисати и да ли се ради о занемарљивом, прихватљивом или неприхватљивом ризику (слика 1). Ово дефинисање могуће је извести преко скале вредности: вредност степена ризика до 0,30 – занемарљив ризик, вредност од 0,31 до 0,70 – прихватљив ризик и вредност преко 0,71 – неприхватљив ризик. Скалу је могуће дефинисати и другачије, зависно од перцепције аналитичара који то раде, тренутног стања појава и сл.

Вредности добијених ризика указују на то да опасност десет ствара неприхватљив ризик, а да опасности пет, два и шест имају значајан ризик, али према усвојеној скали још увек прихватљив. Такође, закључује се и да су опасности седам и четири занемарљивог ризика. На основу тога неопходно је приступити третирању ризика од опасности десет, односно смањењу вредности одређених улазних критеријума (вероватноће, критичности, рањивости, негативних последица или способности за генерисање нових опасности), као и сталном праћењу опасности пет, два и шест како не би дошло до промене њихових параметара који би довели до повећања ризика.

Закључак

Место и улога процене ризика у одбрамбеној операцији снага Копнене војске још увек нису у потпуности дефинисани. Доктринарна документа истичу значај процене ризика у свим операцијама, па тако и одбрамбеној. Међутим, прецизно одређење на који начин се то ради је изостало, што може да утиче на то да се процена ризика занемари, односно недовољно експлоатише или чак погрешно обавља. Другим речима, процена ризика је остављена на вољу доносиоцима одлука, ослањајући се на њихово (не)искуство које може бити различито, те сходно томе произвести и различите последице (позитивне или негативне).

Приказани ФЛС даје један приступ решавању проблема процене ризика при савлађивању водених препрека у одбрамбеној операцији. У односу на постојеће стање овај ФЛС има низ предности. Прва важна предност приказаног ФЛС јесте што су у њему дефинисани критеријуми по којима се врши процена ризика при савлађивању водених препрека, те ствара могућност за даље третирање ризика. Дефинисани критеријуми константно упућују на комплетну анализу проблема. То је посебно значајно кад одлуку доноси лице са мање искуства, што ће врло често бити реалност, јер и поред великог броја вежби и симулација, које се реализују ради припрема за борбена дејства, реалност има своју *differentia specifica*, коју је тешко у потпуности сагледати кроз школовање и увежбавање у мирнодопским ситуацијама. Значај решавања овог проблема истраживања је утолико већи, када се зна да је описани проблем само део из сета одлука које доносилац одлуке у борбеној ситуацији.

цији треба да дефинише. Друга важна предност је чињеница да је успостављен математички модел помоћу којег се дефинисаним опасностима додељује квантитативна вредност ризика, што представља највећи допринос примени овог модела. Тиме су „магловите” представе о утицају опасности на активност савлађивања водених препрека преведене у бројчане вредности, које се могу поредити и рангирати. То даље, у практичном смислу, отвара простор за управљање ризицима.

Развијени ФЛС штеди време потребно за доношење одлуке, смањује напрезање доносиоца одлуке и даје могућност лицима са мање искуства да донесу мање штетну, односно кориснију одлуку. Основни недостатак модела је чињеница да су четири од пет улазних критеријума приказани као лингвистички дескриптори, што лицима која доносе одлуку и даље оставља могућност грешке.

Перформансе развијеног ФЛС могу успешно да се побољшају пресликавањем у адаптивну неуронску мрежу, која поседује способност учења и опонашања одлучивања официра – доносиоца одлуке у конкретној ситуацији. Тиме би се прецизност система могла повећати.

Литература

[1] Chapman, C. B. и Cooper, D. F.: „Risk analysis: testing some prejudices”, *European Journal of Operational Research*, бр. 14/1983, стр. 238-47, у: Sotoudeh, G., Khanzadi, M. и Parchami M. J.: „A Fuzzy MCDM for Evaluating Risk of Construction Projects”, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, бр. 12/2011, стр. 162-171.

[2] Gohar, A. M., Khanzadi, M. и Jalal, M.P.: „A Fuzzy MCDM for Evaluating Risk of Construction Projects”, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, бр. 5/2011, стр. 162-171.

[3] Herrera, F. и Martínez, L.: „An Approach for Combining Numerical and Linguistic Information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in Decision Making”, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, бр. 8/2000, стр. 539-562.

[4] ISDR: *Living with Risk*, United Nations, 2004 II Volumes.

[5] Johnson, C. W.: *Military Risk Assessment: From Conventional Warfare to Counter Insurgency Operations*, University of Glasgow Press, Glasgow, Scotland, 2012.

[6] Kaplan, S. и Garrick, B. J.: „On The Quantitative Definition of Risk”, *Risk Analysis*, бр. 1/1981, стр. 11-27.

[7] Klinke A. и Renn O.: *Challenges of Risk Evaluation, Risk Classification, and Risk Management*, Akademie für Technikfolgenabschätzungin Baden, Württemberg, 1999.

[8] McGill, W. и Ayyub, M. B.: „Multicriteria Security System Performance Assessment Using Fuzzy Logic”, *The Journal of Defense Modeling and Simulation (JDMS): Applications, Methodology, Technology*, бр. 4/2007, стр. 356-376.

[9] Taner, J. C.: *Operational list management at the operational level of War*, Naval War Colege, Newport, 1997, доступно на: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a328149.pdf> (10. новембар 2013).

[10] Johns, T. L.: „Risk analysis in loss prevention research”, *Security Journal*, бр. 3/2011, стр. 225–236.

[11] Vaughan, E. и Vaughan, T.: *Основе осигурања и управљање ризицима*, МАТЕ, Загреб, 2011, у: Авакумовић, Ч., Милинковић, С. и Вујачић, Н.: „Менаџмент ризика”, *Зборник радова са међународне научне конференције МЕНАЏМЕНТ 2010*, Крушевац, 2010, стр. 387-390.

[12] Vauglan, E. J.: *Risk Management*, John Wiley & Sons, New York, 1997, у: Кековић, З., Савић, С., Комазец, Н., Милошевић, М. и Јовановић, Д.: *Процена ризика у заштити лица, имовине и пословања*, Центар за анализу ризика и управљање кризама, Београд, 2011.

- [13] Авакумовић, Ч., Милинковић, С., Вујачић, Н.: „Менаџмент ризика“, *Зборник радова са међународне научне конференције МЕНАЏМЕНТ 2010*, Крушевац, 2010, стр. 387-390.
- [14] Божанић Д., Памучар Д.: "Израда базе правила fuzzy логичког система за подршку одлучивању агрегацијом тежина премиса правила", *Техника*, бр. 1/2014, стр. 129-138.
- [15] Божанић, Д. и Памучар, Д.: „Вредновање локација за успостављање мосног места преласка преко водених препрека применом fuzzy логике“, *Војнотехнички гласник*, бр. 1/2010, стр. 129-145.
- [16] *Војна енциклопедија*, књига 7, Војноиздавачки завод, Београд, 1974.
- [17] *Војни лексикон*, Војноиздавачки завод, Београд, 1981.
- [18] Војска Србије – званични веб сајт, доступно на: <http://www.vs.rs> (05. август 2014)
- [19] Вујовић, Р.: *Управљање ризицима и осигурање*, Универзитет Сингидунум, Београд, 2009.
- [20] *Доктрина Војске Србије*, Медија центар „ОДБРАНА“, Београд, 2011.
- [21] Каровић, С., Комазец, Н.: „Управљање ризицима као предуслов интегрисаног менаџмент система у организацији“, *Војнотехнички гласник*, бр. 3/2010, стр. 146-161.
- [22] Кековић, З., Глишић, Г., Комазец, Н.: „Приступ методологији интегралног управљања ризиком у организацији“, *Војно дело*, бр. 3/2009, стр. 243-257.
- [23] Кековић, З., Савић, С., Комазец, Н., Милошевић, М. и Јовановић, Д.: *Процена ризика у заштити лица, имовине и пословања*, Центар за анализу ризика и управљање кризама, Београд, 2011.
- [24] Митровић, С.: *Аутоматско гаражирање робота HEMISSON применом fuzzy логике*, магистарски рад, Електротехнички факултет, Београд, 2006.
- [25] Памучар, Д., Божанић Д., Ђоровић Б.: *Fuzzy logic in decision making process in the Armed Forces of Serbia*, LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 2011б.
- [26] Памучар, Д., Божанић, Д., Ђоровић, Б., Милић, А.: „Modelling of the fuzzy logical system for offering support in making decisions within the engineering units of the Serbian army“, *International journal of the physical sciences*, бр. 3/2011а, стр. 592 – 609.
- [27] Памучар, Д., Васин, Љ., Ђоровић, Б., Луковац, В.: „Дизајнирање организационе структуре управних органа логистике коришћењем fuzzy приступа“, *Војнотехнички гласник*, 3/2012б, стр. 143-167.
- [28] Памучар, Д., Ђоровић, Б., Божанић, Д., Ћировић, Г.: „Modification of the dynamic scale of marks in analytic hierarchy process (AHP) and analytic network approach (ANP) through application of fuzzy approach“, *Scientific Research and Essays*, 1/2012а, стр. 24-37.
- [29] Памучар, Д.: „Fuzzy-DEA model for measuring the efficiency of transport quality“, *Војнотехнички гласник*, бр. 4/2011, стр 40-61.
- [30] Памучар, Д.: „Примена fuzzy логике и вештачких неуронских мрежа у процесу доношења одлуке органа саобраћајне подршке“, *Војнотехнички гласник*, бр. 3/2010, стр. 125-145.
- [31] Пифат, В.: *Прелаз преко река*, Војноиздавачки завод, Београд, 1980.
- [32] Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама, *Службени гласник Републике Србије*, 96/2012.
- [33] Чулић, М., Сукновић М.: *Одлучивање*, Факултет организационих наука, Београд, 2010.
- [34] Шећеров, П.: *Модел процене ризика и успостављање система интегрисане заштите на регионалном коридору 10*, докторска дисертација, Факултет безбедности, Београд, 2010.
- [35] Zadeh, L.: „Fuzzy sets“, *Information and control*. бр. 8/1965, стр 338-353.
- [36] *FM 5-19 Composite Risk Management*, Headquarters Department of the Army, 2006.