

**Autori:**

docent dr Radomir Janković, dipl. inž., pukovnik u penziji, naučni savetnik VTI

docent dr Nebojša Nikolić, dipl. inž., pukovnik

**PRIMENE SIMULACIJA U PROUČAVANJU  
FIZIONOMIJE SAVREMENOG RATA**

**Izdavač:**

INSTITUT ZA STRATEGIJSKA ISTRAŽIVANJA

**Za izdavača:**

Zarić mr Milan, general-potpukovnik

**Recenzenti:**

Prof. dr Mitar Kovač, brigadni general

Prof. dr Momčilo Milinović

**Tehničko uređenje:**

autori

*Stavovi izraženi u ovoj publikaciji pripadaju isključivo autorima i ne predstavljaju nužno zvanične stavove izdavača*

**Tiraž:**

100

**Štampa:**

Vojna štamparija

**PREDGOVOR**

Osnovni cilj ove studije jeste upoznavanje vojnostručne javnosti Vojske Srbije i Ministarstva odbrane, sa mogućnostima i savremenim trendovima primene metoda simulacionog modelovanja i simulacionih tehnologija u proučavanju fizionomije savremenog rata i drugih oblika angažovanja oružanih snaga u ispunjavanju njihovih zakonom propisanih misija i zadataka.

Studija „PRIMENA SIMULACIJA U PROUČAVANJU FIZIONOMIJE SAVREMENOG RATA“ je deo istoimenog projekta započetog u Institutu za strategijska istraživanja tokom 2009.godine. U savremenim armijama simulacije su odavno našle svoje mesto. Poznata fraza: „Sve osim rata je simulacija“, dobro ilustruje sveprisutnost simulacija u različitim vojnim oblastima. Razvoj tehničkih sredstva, rešavanje naučnih problema u vojnim naukama, vojna obuka, itd. gotovo su nezamislivi bez primene simulacionih metoda i modela.

Studija i projekat „PRIMENA SIMULACIJA U PROUČAVANJU FIZIONOMIJE SAVREMENOG RATA“, u direktnoj su vezi i sa odredbama iz nacrtu STRATEGIJSKOG PREGLEDA ODBRANE, gde je navedeno sledeće (str.17): „Savremeni izazovi, rizici i pretnje bezbednosti zahtevaju bitno promenjenu strukturu znanja i sposobnosti koji se stiču odgovarajućim školovanjem i stalnim osposobljavanjem. Novim oblicima rada treba stvoriti profil profesionalnog vojnika koga determinišu tri značajna činioca: nova vrednosna orijentacija (profilisanje kroz vrednosti koje su definisane vrednosnim sistemom društva na nacionalnom i globalnom nivou); novi pristup fizionomiji savremenog rata (prenošenje težišta znanja sa frontalnih na asimetrična i nelinearna dejstva); i novi pristup naučno-tehnološkim dostignućima (razvijanje sposobnosti za upotrebu savremenih borbenih sistema u mrežocentričnom okruženju).“

U Strategijskom pregledu odbrane ističe se da će osnovu organizacione strukture Vojske 2015. predstavljati bataljon – divizion – eskadrila. Ove jedinice posedovaće potrebne sposobnosti za samostalno izvođenje operacija i združivanje u sastave višeg nivoa. Osnovni pokazatelji operativnih i funkcionalnih sposobnosti vojnih snaga u neposrednoj budućnosti, prema Strategijskom pregledu odbrane iz 2009.godine, biće: sposobnost za razmeštanje; održivost; modularnost; raspoloživost; zaštita; i integrisano komandovanje. Ovako specifikirani pokazatelji sposobnosti predstavljaju polaznu osnovu za njihovu dalju konkretizaciju kroz istraživanje i ovog tipa.

Sa aspekta potreba i delokruga rada Instituta za strategijska istraživanja, opravdanost istraživanja ogleda se u sledećem (prema Statutu ISI i zadacima ISI –videti i: [www.mod.gov.rs](http://www.mod.gov.rs)):

- Razrada teorijskih i metodoloških osnova istraživanja u domenu konflikata, bezbednosnih izazova, rizika i pretnji, kriza, oružanih sukoba, strategije odbrane, bezbednosnih integracija, vojne istorije i sociološko-psiholoških i andragoških problema.
- Izrada studija iz oblasti bezbednosti i odbrane zemlje.
- Istraživanja problema iz oblasti upravljanja, rukovođenja i komandovanja sistemom i elementima sistema odbrane.
- Obezbeđivanje usavršavanja naučnog i stručnog kadra.

- Saradnja sa naučnoistraživačkim organizacijama i drugim ustanovama iz predmetne osnove u zemlji i inostranstvu.
- Objavljivanje stručnih i naučnih publikacija.

U organizacionom i praktičnom smislu suština problema je nastojanje da simulacije nađu svoje mesto i u našoj vojsci. To obuhvata sledeće aspekte: Stvaranje uslova za razvoj kadra sposobnog da prati moderne trendove u ovoj oblasti i primenjuje poznata dostignuća i dalje razvija metode i primenu simulacija; Primenu simulacionog modelovanja u naučnoistraživačkom radu na proučavanju fizionomije savremenog rata i druge vojne problematike; i Podršku i saradnju sa organizacionim celinama Vojske zaduženim za primenu simulacija u procesu vojne obuke. Interagencijska saradnja svojstvena je i vojskama velikih država, a u slučaju malih to je čak i imperativ.

Specifični cilj projekta je u funkciji i generalnog cilja rada i istraživanja u ISI, odnosno davanje „doprinosu fondu naučnih saznanja u oblasti bezbednosti i odbrane. Primenom naučne metodologije i rezultata istraživanja pruža pomoć i podržava brže, efikasnije i efektivnije donošenje odluka u sistemu odbrane“. Realizacijom istraživačkog projekta treba postići sledeće podciljeve:

- Stvaranje uslova za upoznavanje vojno-stručne javnosti i edukaciju kadra o mogućnostima i načinima primene simulacija u vojnoj obuci i istraživanjima.
- Praćenje stranih iskustava o vojnim primenama simulacija.
- Praćenje stranih iskustava o proučavanju fizionomije savremenog rata.
- Analiza specifičnosti simulacionog modelovanja savremenih borbenih dejstava, unapređenje postojećih i razvoj novih metoda.

Opšta hipoteza jeste da proučavanje fizionomije savremenog rata, zbog složenosti istog, nameće potrebu za primenom simulacionog modelovanja. Jedinstvena priroda ratova i drugih vidova angažovanja vojske, složenost ratnih uslova i opasnosti po ljude, sredstva i okolinu, onemogućavaju eksperimente u realnim uslovima i impliciraju potrebu za modelovanjem proučavanih procesa i sredstava. Složenost, nelinearnost, dinamičnost, stohastičnost i intenzivnost proučavanih procesa, ograničavaju mogućnosti primene egzaktnih metoda i proizvode potrebu za simulacionim modelovanjem.

## ABSTRACT

Actual modes of engagement of the military, and characteristics of modern warfare above all, call for different methods and approaches in their investigation and studying. Requirements and expectancies are more demanding, but available and permitted effectiveness and resources are running down. Solutions are seen in a technical modernization and organizational improvements, but also in searching for new doctrinal concepts. Simulation modeling and its different applications have important role in this efforts. One of them is a Swarming concept, which is presented in details. Swarming concept is a direct consequence of one wider context known as network-centred warfare. Potential and usability of the Swarming concept comes from basic idea that smaller forces could be produce greater effect on the battlefield. Also, this work contains basic information about possibilities and different applications of simulation modeling in a military domain, as well as some views on the overall changes in the military known as the revolution in military affairs. Other concepts, like Data farming, and characteristics of military simulation modeling are presented in short and that could be a starting point for future research like this one.

**Key words:** Simulation Modeling, Military, Swarming, Modern Warfare.

## SAŽETAK

Savremeni oblici angažovanja vojnih snaga i pre svega karakteristike modernih oružanih sukoba, nameću potrebu primene različitih metoda i pristupa u njihovom proučavanju. Zahtevi i očekivanja su sve veći, a raspoloživi i dopušteni vojni efektivni i resursi sve manji. Rešenje se traži u modernizaciji i unapređenju organizacije, kao i u pronalaženju novih koncepata upotrebe. Važnu ulogu u tim nastojanjima imaju različiti vidovi primene simulacionog modelovanja. Jedan od tih koncepata je i Swarming, koji je detaljno izložen. Koncept Swarming-a je direktna posledica šireg vojnog koncepta poznatog kao mrežno-centrično ratovanje. Potencijalna upotrebna vrednost koncepta Swarming je u ideji da se sa manjim snagama može postići više. U radu su date i osnovne informacije o mogućnostima i vidovima vojne primene simulacionog modelovanja, kao i o fenomenu promena u vojnoj oblasti što je poznatije kao revolucija u vojnim poslovima. Ostali koncepti, kao što je Data farming, i specifičnosti simulacionog modelovanja u vojnoj oblasti su dati informativno i predstavljaju osnovu za druga istraživanja slična ovom.

**Ključne reči:** Simulaciono modelovanje, Vojna oblast, Swarming (Rojenje), Savremeni rat.

## SADRŽAJ

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 1    | UVOD   | 8   |
| 1.1  | PREDNOSTI PRIMENE SIMULACIJE   | 8   |
| 1.2  | NEDOSTACI I PROBLEMI U PRIMENI SIMULACIJA                              | 9   |
| 1.3  | UPOREDNI PREGLED PRIMENE SIMULACIJA                                    | 9   |
| 2    | VIDOVI VOJNE PRIMENE SIMULACIJA  | 12  |
| 2.1  | SIMULACIJA U PROCESU OBRAZOVANJA                                       | 12  |
| 2.2  | SIMULACIJA U PROCESU OBUKE   | 12  |
| 2.3  | ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNE SIMULACIJE                                       | 14  |
| 2.4  | OPERATIVNA PRIMENA SIMULACIJA  | 15  |
| 3    | OSNOVNI POJMOVI U VOJNIM PRIMENAMA SIMULACIJE                          | 19  |
| 4    | METODOLOŠKI PRISTUP RAZVOJU SIMULACIONIH MODELA                        | 27  |
| 4.1  | FORMULISANJE PROBLEMA  | 27  |
| 4.2  | PRIKUPLJANJE INFORMACIJA I RAZVOJ KONCEPTUALNOG MODELA                 | 28  |
| 4.3  | VALIDACIJA KONCEPTUALNOG MODELA  | 29  |
| 4.4  | RAČUNARSKA IMPLEMENTACIJA KONCEPTUALNOG MODELA                         | 29  |
| 4.5  | VALIDACIJA RAČUNARSKE IMPLEMENTACIJE MODELA                            | 30  |
| 4.6  | PLANIRANJE I ANALIZA SIMULACIONIH EKSPERIMENATA                        | 30  |
| 4.7  | IZRADA DOKUMENTACIJE I IZVEŠTAJA O REZULTATIMA                         | 30  |
| 4.8  | SIMULACIJA I DRUGE NAUČNE DISCIPLINE                                   | 31  |
| 5    | FIZIONOMIJA SAVREMENOG RATA  | 33  |
| 5.1  | PREGLED POJMOVNIH ODREDNICA O SAVREMENOM RATOVANJU                     | 33  |
| 5.2  | REVOLUCIJA U VOJNIM POSLOVIMA  | 36  |
| 5.3  | TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI ASPEKT   | 37  |
| 5.4  | PROMENE PRETNJI I BOJIŠTA  | 38  |
| 5.5  | POLITIČKI I SOCIJALNI ASPEKT   | 38  |
| 5.6  | ORGANIZACIONI ASPEKT   | 39  |
| 5.7  | PROMENE U PERCEPCIJI ULOGE I ZADATAKA ORUŽANIH SNAGA                   | 39  |
| 5.8  | KOMPLEKSNOST I SINERGIJA PROMENA                                       | 39  |
| 5.9  | MREŽNO-CENTRIČNO RATOVANJE   | 40  |
| 6    | NOVI SIMULACIONI KONCEPTI  | 42  |
| 7    | SIMULACIJA BORBENIH SISTEMA – NAORUŽANIH MOBILNIH PLATFORMI            | 45  |
| 7.1  | OSNOVNO O KORIŠĆENOM SIMULACIONOM PAKETU                               | 45  |
| 7.2  | SWARMING - TAKTIKA ROJENJA   | 47  |
| 7.3  | KONCEPT NAORUŽANE MOBILNE PLATFORME – DEFINICIJE                       | 49  |
| 7.4  | METODOLOGIJA ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NMP                              | 51  |
| 7.5  | SIMULACIJA IZNENADNOG SUKOBA DVE NMP                                   | 54  |
| 7.6  | SIMULACIJA IZNENADNOG SUKOBA DVA TENKA                                 | 68  |
| 7.7  | SIMULACIJA UTROŠKA MUNICIJE U TOKU IZNENADNOG SUKOBA DVA TENKA         | 74  |
| 7.8  | SIMULACIJA PONAŠANJA KIS NMP POD RAZLIČITIM USLOVIMA BORBENIH DEJSTAVA | 86  |
| 7.9  | SIMULACIJA LOKALNE RADIO-RAČUNARSKE MREŽE OKLOPNOG BATALJONA           | 100 |
| 7.10 | SIMULACIJA SWARMINGA OKLOPNOG BATALJONA                                | 108 |
| 8    | KONCEPT DATA FARMINGA  | 122 |
| 9    | ZAKLJUČAK  | 126 |
| 10   | LITERATURA   | 127 |

## 1 UVOD

Simulacija je način prikaza ponašanja realnog sistema ili načina odvijanja realnog procesa, putem eksperimentisanja na modelu koji je napravljen tako da predstavlja prikaz realnog sistema ili situacije obuhvatajući one aspekte realnosti (elemente i veze između njih) koji su od interesa za proučavanje. U današnje vreme, simulacioni modeli i simulacioni eksperimenti obično se razvijaju i koriste uz pomoć računara.

Simulacija je relativno mlada naučna disciplina koja je uprkos tome prisutna u najrazličitijim oblastima sa uzlaznim trendom primene. Simulacija je vrlo zahvalna za primenu u rešavanju brojnih problema i zadataka u vojnoj oblasti. Dokazi o naučnoj opravdanosti simulacionih projekata lako se mogu naći uvidom u referentnu naučnu i stručnu literaturu.

Karakteristike savremenih ratova kao što su asimetričnost, nelinearnost, dinamičnost, nepredvidljivost, relativna kratkotrajnost i visok intenzitet, u velikoj meri ograničavaju primenu drugih metoda pri proučavanju fizionomije savremenog ratovanja. Upravo u tome je komparativna prednost simulacija nad ostalim metodama.

### 1.1 PREDNOSTI PRIMENE SIMULACIJE

Komparativne prednosti primene simulacija u odnosu na tradicionalne metode modelovanja su:

- **MODELOVANJE STOHAISTIČKIH PROCESA.** Mnogi realni sistemi, pored svoje složenosti, sadrže i elemente slučajnosti, tj. pojedini procesi u njima su stohastički tako da se ne mogu lako opisati pomoću analitičkih matematičkih modela. U takvim slučajevima, simulacija je jedini efikasni način za istraživanje ponašanja tih sistema.
- **MODELOVANJE SLOŽENIH POJAVA.** Realni sistemi velike strukturne složenosti, sa brojnim elementima i brojnim vezama između tih elemenata, relativno lako se prikazuju u simulacionim modelima.
- **OBUHVAT VEĆEG SKUPA ULAZNIH PODATAKA.** Simulacioni modeli omogućavaju jednostavno variranje vrednosti ulaznih veličina i ograničenja u modelu za vrlo različite situacije.
- **ADAPTIBILNOST SIMULACIONOG MODELA.** Svojom fleksibilnošću simulacija omogućava efikasno kreiranje više varijanti, kao i kvalitetan izbor najpovoljnije varijante pri projektovanju realnih sistema.
- **FLEKSIBILNOST EKSPERIMENTISANJA.** Pri korišćenju simulacionih modela moguća je potpuna kontrola eksperimentalnih uslova, kao i neograničene mogućnosti ponavljanja eksperimenta bez nehotičnog narušavanja eksperimentalnih ulova.
- **VREMENSKI OKVIR EKSPERIMENTISANJA.** Problem vremenskog trajanja eksperimenta ne postoji, što je od posebnog interesa pri modeliranju realnih procesa koji traju izuzetno kratko ili izuzetno dugo vreme.
- **MODELOVANJE JEDINSTVENIH PROCESA.** Simulacioni modeli su praktično najbolji, a nekad i jedini način za proučavanje posebnih klasa realnih procesa koji se vrlo retko događaju, ali za koje uvek postoji potencijalna mogućnost da se zaista i dogode (na pr. ratovi, mirovne misije, oružani sukobi i intervencije, elementarne nepogode i vanredni događaji, itd.).

- **VIZUELIZACIJA.** Moderni simulacioni paketi omogućavaju visok stepen vizuelnog prikaza strukture modela, kao i izlaznih rezultata, što pomaže percepciji ponašanja modela i unapređuje rad korisnika.

### 1.2 NEDOSTACI I PROBLEMI U PRIMENI SIMULACIJA

Primena simulacija ima i određene mane:

- **PROBLEM TAČNOSTI SIMULACIONIH REZULTATA.** Simulacioni modeli ipak ne daju apsolutno preciznu sliku ponašanja realnih sistema, već se pre može govoriti o oceni ponašanja posmatranog realnog sistema, odnosno o odgovarajućem stepenu tačnosti. Treba ih koristiti samo onda kada nije moguće oformiti analitički model, jer su analitički modeli uvek tačniji od simulacionih. Problem tačnosti u simulaciji je još uvek otvoren naučni problem koji pleni pažnju naučnika širom sveta.
- **SLOŽENOST SIMULACIONIH PROJEKATA.** Izrada simulacionih modela načelno je jeftinija i vremenski kraća od drugih vrsta modelovanja, mada u nekim slučajevima (pre svega kompleksnijim i obimnijim realnim problemima) može izgledati skupa i dugotrajna. Ima više razloga koji doprinose porastu cene i vremena realizacije projekta: brojnost i heterogenost subjekata uključenih u realizaciju; nepredviđene teškoće u računarskoj implementaciji modela; nedovoljna konkretizacija u formulaciji problema; slaba saradnja naručioca i kreatora modela; naknadni zahtevi naručioca; itd.
- **VALIDACIJA MODELA.** Validacija simulacionog modela je od posebne važnosti, pa mora biti izvršena kvalitetno i sveobuhvatno za širi spektar različitih situacija. Saradnja eksperata za realni sistem koji je modelovan i kreatora modela je ključna u proceni valjanosti i primerenosti kreiranog modela prema njegovoj početno definisanoj nameni.
- **GENERALIZACIJA REZULTATA.** Nužan je veliki oprez u generalizovanju i korišćenju rezultata simulacije. Pri tome se moraju imati na umu osnovna namena simulacionog modela, usvojene hipoteze, ograničenja i izvršene aproksimacije i pojednostavljenja realnog sistema za potrebe modela.
- **INFORMATIČKI ZAHTEVI.** Potrebno je dobro poznavanje računarskih jezika i paketa za simulaciju, kao i određeni nivo informatičke osposobljenosti samih korisnika. Takođe, potrebni su i respektivni materijalni resursi i oprema.

### 1.3 UPOREDNI PREGLED PRIMENE SIMULACIJA

U okviru NATO postoji nekoliko tela koja se bave vojnim primenama simulacija. Njihova uloga je koordinacija, saradnja, razmena iskustava i predlaganje standarda različitih nivoa (od terminologije do interoperabilnosti) u oblasti vojne primene simulacije.

Jedno od tih tela je Radna Grupa za Obuku putem Simulacija u KoV (Training Simulation Working Group, TSWG). Svrha ovog tela je obezbeđenje kontakata i razmene iskustava u oblasti obuke putem simulacija, za zemlje članice NATO i PfP. Težišne su sledeće aktivnosti:

- Identifikacija zajedničkih koncepata koji mogu biti univerzalno primenjeni;
- Obezbeđenje koordinacije između zemalja članica u pogledu primene simulacija u obuci;

- Definisane preporuke za smernice po pitanju razvoja standarda u primeni simulacija u vojnoj obuci;
- Obezbeđenje koordinacije sa drugim radnim grupama u NATO, po potrebi.

Pored toga TSWG obavlja i sledeće aktivnosti:

- Daje godišnje preglede organizacija zainteresovanih za primenu simulacija u obuci KoV-a;
- Formira godišnje kataloge paketa za simulaciju koji se koriste u obuci ili su u procesu nameskog razvoja za zemlje članice;
- Daje godišnje preglede osnovnih dokumenata u oblasti simulacije;
- Prati razvoj simulatora i identifikuje potrebe obuke za istim;
- Identifikuje zajedničke potrebe za zahtevanim karakteristikama sistema za simulaciju primenjenih u obuci;
- Preporučuje korisničke zahteve za interoperabilnošću i standardizacijom simulacionih protokola;
- Ohrabruje i promovise primenu simulacija u obuci KoV.

Jedan od aspekata internacionalne saradnje u oblasti vojne primene simulacija podrazumeva i standardizovani i sistematizovani pregled stanja i vizija razvoja vojne primene simulacija na nivou svake zemlje (u ovom slučaju članice NATO saveza i Programa Partnerstvo za Mir – PFP), po opšte definisanim elementima i sadržajima.

Jedan takav pregled dat je u Tabeli 1.1, koja je formirana na osnovu dostupnih i raspoloživih podataka za određeni broj zemalja. U cilju lakšeg poređenja sa ostalim državama, prikazana je i Srbija sa stanjem iz 2009. godine.

Podaci u Tabeli 1.1 su relativno novi (2006.godina), a kako je reč o sadržajima koji se menjaju i unapređuju tokom vremena, može se pretpostaviti da je situacija danas nešto drugačija (pre svega u smislu da su neke države proširile svoje mogućnosti u pogledu vojne primene simulacija).

Na osnovu podataka u Tabeli 1.1, može se zaključiti da su u vojnoj primeni simulacija, po raznim aspektima i iz skupa prikazanih država, najdalje otišle sledeće zemlje: SAD, Velika Britanija, Nemačka, Kanada i Turska. Podaci za neke druge velike i razvijene zemlje (kao što je Rusija, Francuska, Kina, itd.) nisu bili raspoloživi tokom istraživanja.

Dodatno, neke države iz našeg regiona nisu u prikazanom uzorku, ali je poznato da imaju određena dostignuća u oblasti vojne primene simulacija. Na primer, centre za simulaciju imaju Hrvatska i Bugarska, dok Albanija i Makedonija učestvuju u internacionalnoj saradnji po pitanju vojne primene simulacija.

**UPOREDNI PREGLED REALIZACIJE MASTER PLANOVA ZA MODELOVANJE I SIMULACIJU NEKIH ZEMALJA, 2006**

| R.br. | RESURSI  | SAD | Velika Britanija | Nemačka | Kanada | Turska | Danska | Holandija | Češka | Portugalija | Norveška | Španija | Poljska | Belgija | Maarska | Srbija |
|-------|--|-----|------------------|---------|--------|--------|--------|-----------|-------|-------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 1.    | Nacionalni master plan za simulaciju   | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 2.    | Nacionalna Kancelarija za koordinaciju u oblasti simulacije                    | +   | x                | x       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 3.    | Zdrveni centar za simulaciju   | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 4.    | Kapacitet za distribuiranu simulaciju  | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 5.    | Mobilni kapaciteti za simulaciju   | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 6.    | HLA ekspertiza i iskustvo  | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 7.    | Iskustva u razvoju federacija simulacija                                       | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 8.1.  | Simulaciona iskustva i sposobnosti za Nabavke                                  | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 8.2.  | Simulaciona iskustva i sposobnosti za Planiranje i Analize                     | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 8.3.  | Simulaciona iskustva i sposobnosti za Obuku i Vebe                             | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 8.4.  | Simulaciona iskustva i sposobnosti za Podršku operacijama (Operativna podrška) | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 9.    | Praktična iskustva za KIS i simulaciona Povezivanja (Linkage)                  | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |
| 10.   | Kurikulum o Simulacijama   | +   | +                | +       | +      | +      | +      | +         | +     | +           | +        | +       | +       | +       | +       | +      |

**Legenda:** + ...Ima (realizovano); x...U planu; 0...Nema, ali je potrebno; /...Ne treba

Tabela 1.1. Stanje razvoja i primene simulacija u vojskama nekoliko država

## 2 VIDOVI VOJNE PRIMENE SIMULACIJA

Primena simulacionih tehnologija u vojnoj ali i drugim oblastima odvija se na nekoliko osnovna pravca koji se međusobno prepliću i uslovljavaju:

- obrazovanje
- obuka;
- istraživanje i razvoj; i
- operativna primena.

### 2.1 SIMULACIJA U PROCESU OBRAZOVANJA

U okviru određenih akademskih i mnogih poslediplomskih studija, naročito u vojnoj oblasti, proučavaju se metode modelovanja i simulacije. Edukacija za modelovanje i simulaciju je obavezan preduslov za istraživačku primenu simulacija, a poželjan uslov za primenu simulacija u obuci i operativnoj primeni.

Edukacija za oblast simulacije je dugotrajan i zahtevan proces koji se meri godinama i podrazumeva potpuno ovladavanje bar jednim simulacionim paketom ili programskim jezikom. Ovaj tip edukacije je i zahtevan jer podrazumeva predznanja iz drugih oblasti: informatike i programskih jezika, teorije verovatnoće i statistika, kao i upotrebno poznavanje engleskog jezika.

### 2.2 SIMULACIJA U PROCESU OBUKE

Primena simulacija u vojnoj obuci je u većini evropskih oružanih snaga odavno postala jedan od standarda obuke, posebno kada je reč o obuci komandi jedinica. Sa naglim razvojem informatičke oblasti, posebno od sredine devedesetih godina, počinje intenzivna i svestrana primena simulacionih tehnologija u vojnoj obuci na trupnom nivou. Za tu svrhu formiraju se centri za vojnu obuku putem simulacija, koji predstavljaju novi element u organizacijskoj strukturi vojske. Po funkcionalnoj logici, centri za obuku putem simulacija obično su vezani za one organe i komande u čijoj je funkcionalnoj nadležnosti planiranje i realizacija obuke. Prema mogućnostima, formiraju se i simulacioni centri u okviru vojnih akademija. Osposobljavanje korisnika za ovaj oblik obučavanja meri se nedeljama. Obuka je olakšana činjenicom da postoji veći broj vojno-komercijalnih simulacionih paketa sa dobrom i stalnom podrškom proizvođača softvera.

Prednosti primene simulacija u obuci, prema američkom borbenom pravilu FM 25-4, su sledeće:

- Relativno su jeftine (jeftinije od pravih vežbi).
- Ne zahtevaju velike poligone.
- Štede vreme za obuku.
- Smanjuju zahteve za aktivnostima pre i posle vežbe.
- Fleksibilne i lako prilagodljive za specifične ciljeve obuke.
- Mogu da prikažu situacije koje na drugi način ne bi bilo moguće prikazati zbog cene ili bezbednosnih zahteva.

- Podstiču jednovremenu obuku viših i nižih komandnih nivoa.
- Obezbeđuju realističan odziv na donete odluke i primenjene planove dejstava (detekcija protivnika, domet i dejstva oruđa, gubici, pokret snaga, itd.).
- Pogodne su za: kreiranje i uvežbavanje jedinica bilo kog sastava, opremljenosti i jačine; različitih zadataka i misija; i različitih borbenih situacija.

Organizacijsko-formacijska struktura centara za simulaciju diktirana je prirodom posla koji se u njemu odvija, odnosno specifičnim tehnološkim zahtevima koje obično nameće izabrani simulacioni softver, kao i obimom rada (složenost i broj vežbi) koji se planira.

Opšti je zaključak da je obuka uz primenu simulacija jeftinija nego kada se sve realizuje bez nje. Međutim, ako je finansiranje obuke vrlo restriktivno uključujući i ukidanje (nerealizaciju) pojedinih pre svega praktičnih obilika nastave, obuke i vežbi, onda proizilazi da obuka uz primenu simulacije može biti i skuplja!

Na evropskom tržištu simulacionih proizvoda, na primer u 2002.godini, bilo je oko 150 manjih i većih ugovarača simulacionih proizvoda i usluga, pri čemu su najveći (Moore, 2004):

- kompanija Thales sa 20% tržišta,
- kompanija CAE sa 14% i
- kompanija Saab sa 10% tržišnog kolača.

U istoj godini na simulacione tehnologije potrošena su sledeća novčana sredstva (u milionima dolara):

- V.Britanija 358,
- Francuska 288,
- Nemačka 249,
- Švedska 147,
- Italija 125,
- Holandija 78,
- Španija 60,
- Grčka 45,
- Belgija 36,
- Norveška 31,
- Poljska 18,
- Češka 11,
- Mađarska 5, itd.

Interesantno je da se u ulozi proizvođača simulacionih proizvoda, osim razvijenih zapadnih zemalja i velikih sila, pojavljuju i kompanije iz zemalja istočne Evrope (Poljska, Češka, Slovačka, Rumunija).

### 2.3 ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNE SIMULACIJE

Simulaciono modelovanje je svoj razvoj i profilisanje kao posebnog metodološkog pristupa započelo u istraživačkim i razvojnim primenama u drugim naučnim oblastima. Sinonim za istraživačko-razvojni tip simulacija jeste Monte Karlo simulaciono modelovanje. Geneza termina Monte Karlo potiče iz dobro poznatog projekta Menhetn (projekat razvoja prve atomske bombe, krajem drugog svetskog rata).

Simulaciono modelovanje kao metodološki naučni pristup razvijeno je pri proučavanju realnih problema, procesa i sistema koji su takve složenosti da ih je teško obraditi primenom drugih metoda i teorija. Po pravilu, to su fenomeni koje odlikuje bar neka od sledećih karakteristika: stohastičnost, dinamičnost, složenost strukture ili odnosa i relacija između elemenata, itd. Upravo vojna oblast obiluje ovakvim procesima, situacijama i sistemima.

Pored toga, simulaciono modelovanje je jedini efikasni kvantitativni metod za modelovanje i proučavanje fenomena koji su vrlo skupi, opasni (rat, oružana borba) ili jednostavno još ne postoje u realnosti, a planira se njihova izgradnja (nova tehnička sredstva, nova organizacija jedinica, nova doktrina upotrebe, itd.).

Istraživačka i razvojna primena simulacija proizvodi direktne efekte na ostale pravce: u obrazovanju, obuci i operativnoj primeni. Istraživanja prethode razvoju svih simulacionih paketa namenjenih obuci i obrazovanju. Različiti realni problemi iz prakse analiziraju se, opisuju, modeluju i simuliraju upravo u istraživačkoj primeni simulacija, a dobijeni rezultati se stavljaju na raspolaganje praktičarima. Naravno, kako je tu reč o naučno-istraživačkoj delatnosti, sva dostignuća po prirodi stvari moraju prethodno steći odgovarajući vid naučne akreditacije (na primer, verifikacijom ostvarenih naučnih i stručnih rezultata kroz procese publikovanja radova, registracije patenata, itd.). Istraživanja i razvoj u oblasti simulacionog modelovanja su izvorište i pokretačka snaga svih ostalih vidova primene simulacija.

Istraživačka i razvojna primena simulacija je multidisciplinarnog karaktera. Kao mlada naučna disciplina i čak kao nova paradigma u nauci (teorija, eksperiment, simulacija) ima svojstvene probleme. Jedan od najvećih je problem kontrole tačnosti izlaznih simulacionih rezultata. Pored toga postoje i određeni specifični problemski izazovi: problem početnog perioda u simulaciji diskretnih događaja, problem dužine trajanja simulacije, problem broja ponavljanja simulacionog eksperimenta, problem dinamičkog odziva modela, itd. (na primer: Nikolić, 2008a, 2008b).

Postoje brojni primeri koji su na samoj granici istraživačke i operativne primene simulacija, odnosno pripadaju i povezuju oba ova pravca. Jedan od novijih primera je rad Barahona i grupe autora –istraživača iz kompanije IBM (Barahon i drugi, 2007) u kome se razmatra problem ešeloniranja materijalnih rezervi i principi dotura u cilju poboljšanja logistike za mrežnocentrične operacije. U suštini, ovaj rad ima izraziti istraživački karakter, ali je po svojoj svrsi orijentisan na praktičnu operativnu primenu u jednom konkretnom savremenom oružanom sukobu.

Ovakav način pristupa u vojnoj primeni simulacija, nije svojstven samo tehnološki najrazvijenijoj armiji sveta, već se može sresti i kod drugih. Tako na primer, odličan primer primene simulacija imamo kod Sadananda Upadhya i Srinivasana (Sadananda Upadhya i Srinivasan, 2003), koji su primenili simulacije u istraživanju nivoa raspoloživosti naoružane platforme (aviona) u zavisnosti od vremena logističkih čekanja u procesu tehničkog održavanja sredstava.

Neki stavovi o fizionomiji savremenog rata sugerišu potrebu proučavanja realnih sistema i procesa koje karakterišu visok nivo opterećenosti i preopterećenost resursa, dianmičke

promene režima funkcionisanja, relativno kratkotrajne misije i druge oblike angažovanja. Upravo ove karakteristike razmatrane su u nekim od novijih radova u oblasti simulacionog modelovanja avojnih procesa i sistema (Nikolić, 2005, 2009). Simulaciono modelovanje jednog od novih koncepata savremenog ratovanja, poznatog u svetskoj literaturi kao swarming, poznato je i proučava se i u našoj zemlji (Janković, 2007, 2008, 2009) i predstavljeno je kao posebna celina u ovoj studiji.

### 2.4 OPERATIVNA PRIMENA SIMULACIJA

#### Analiza operacija

Praćenje situacije i digitalno borbeno komandovanje i kontrola (C2), su ključni za nastavljajanje uspešnog angažovanje KoV-a. Operacija "Iračka sloboda", jasno je pokazala da je za uspeh na bojnopolju potrebna, ne samo vešta upotreba savremenog oružja, već i efikasna primena digitalnih borbenih komandnih sistema (Tatum M.A., 2004). Rat je takođe potencirao i važnost korišćenja realističnog digitalnog sintetičkog okruženja za operaciono testiranje i obuku.

Komanda za operaciono testiranje KoV-a (US Army Operational Test Command), razvila je probni model za simulaciono testiranje operacija (STORM, Simulation Testing Operations Rehearsal Model), kako bi obezbedila sintetičko okruženje za realistično operaciono testiranje, u uslovima ograničenih resursa na primer: prostor, novčana sredstva, broj vojnika, protivničke snage i vreme (Tatum M.A., 2004).

Simulacioni paket STORM je federacija simulacija zasnovanih na entitetima, koje rade u distribuiranom interaktivnom simulacionom okruženju. STORM objedinjava prave i zamišljene učesnike, kao i simulirane entitete (vozila, vojnike), u cilju kreiranja realističnog modela bojišta opisivanjem viših i nižih jedinica. STORM koristi taktičke sisteme veza za digitalni prenos i prijem poruka koje se odnose na praćenje situacije (SA, Situational Awareness) i komandovanje i kontrolu (C2, Command and Control), između pravih i simuliranih učesnika u realnom vremenu. Na taj način je obezbeđena realističnost vežbe, odnosno uobičajena slika rada (pravi učesnici, u simulacionoj vežbi, rade onako i na onim sredstvima kao u stvarnoj situaciji).

STORM je korišćen u uspešnom razvoju projekta "Oružane Snage 21. veka, Borbeno komanda brigade i niže", (FBCB2, Force XXI Battle Command Brigade and Below), gde je obezbedio robusno sintetičko okruženje za razvojno i operativno testiranje projekta. Tokom početnih operativnih testiranja projekta FBCB2, aprila 2000. godine, STORM je simulirao jedan oklopni i jedan mehanizovani bataljon u sastavu odgovarajuće brigadne borbeno grupe (BCT, Brigade Combat Team), naspram prave brigadne borbeno grupe iz 4. pešadijske divizije, na poligonu Fort Huda u Teksasu (Tatum M.A., 2004).

Operateri na deset STORM-ovih radnih mesta, simulirali su čete, izviđačke i minobacačke vodove, i druge elemente borbenog rasporeda koji čine brigadnu borbeno grupu. U ovoj vežbi STORM se pokazao uspešnim, što je potvrđeno i u nekoliko narednih vežbi sa drugim jedinicama. Po brojnosti, simuliranih entiteta može biti više hiljada; po nivou dinamičkog prikaza: poruka o praćenju situacije može biti i nekoliko miliona, a poruka koje se odnose na komandovanje i kontrolu i više hiljada. Zbog svojih performansi STORM je ocenjen kao sredstvo koje omogućava veoma verodostojne simulacione modele za obuku. Upravo ovaj paket je korišćen za pripremu jedinica KoV-a angažovanih u Iraku.

### **Primena u obuci za vanredne situacije**

Interesantan je primer (McMichael H.W., 2007), jedne specifične primene simulacionog modelovanja hipotetičke situacije terorističkog napada atomskom bombom na urbane sredine, koji je realizovan sredinom januara 2007.godine u jednom od najboljih američkih simulacionih centara u Safolku, Virdžinija, u organizaciji direktorata J-9 Združene Komande.

Pretpostavka je bila da je atomska bomba jačine 10kt aktivirana u Vašingtonu. Cilj vežbe je bio da se istraže različiti aspekti ove situacije i sveobuhvatno sagledaju posledice, kao i da se spozna mesto, uloga i način komunikacije između različitih subjekata koji treba da reaguju na ovu situaciju. Scenario na prvi pogled može da izgleda previše futuristički, ali prethodna američka iskustva sa katastrofama velikih razmera (11.septembar 2001, i uragan Katrina 2005), sugerišu potrebu za razmatranjem i ovakvih opcija.

Upravo simulacija pretstavlja pravi, ako ne i jedini raspoloživi alat za modelovanje i analizu ovakvih jedinstvenih i katastrofičnih događaja koji se tiču odbrane i bezbednosti. Simulacioni softver koji je korišćen u ovoj vežbi je "Rapid Damage Assessment Capability", i kako mu samo ime kaže namenjen je za simulaciju sličnih katastrofičnih situacija i modelovanje sveobuhvatnih posledica takvih događaja.

U konkretnom primeru, modelovani su razni aspekti: uništeni i oštećeni objekti; širenje i kretanje radioaktivnog oblaka u zavisnosti od smera i jačine vetra i drugih vremenskih parametara, kao i njegov uticaj na oblasti koje zahvata; rad komunalnih i spasilačkih službi i bolnica; situacija sa saobraćajnom mrežom i telekomunikacijama; itd. Pri tome je korišćeno ukupno hiljadu pojedinačnih entiteta za modelovanje nastale situacije, uz mogućnost digitalnog prikaza istih. Tokom vežbe se pokazalo da je trenutni vizuelni prikaz situacije od velike pomoći različitim donosiocima odluka: kada, kako i kolike resurse da angažuju na sanaciji štete, evakuaciji i zbrinjavanju ugroženog stanovništva.

Rezime ove vežbe ima više preporuka za dalje aktivnosti. Učesnici iz sektora za vanredne situacije su bili veoma zadovoljni vežbom ističući njenu korisnost (dinamički prikaz situacije, mogućnost provere različitih scenarija, sveobuhvatnost prikaza različitih aspekata vanredne situacije, itd). Percipirane su mogućnosti za dalju saradnju na relaciji: državni organi (definisanje zahteva i scenarija, primena gotovih paketa); akademska zajednica (naučni razvoj i istraživanje); i industrija (razvoj simulacionih paketa prema zahtevima korisnika i uz implementaciju naučno-istraživačkih rezultata). Međuresorna saradnja ministarstava odbrane i organa za vanredne situacije i unutrašnju ("domovinsku") bezbednost, u smislu korišćenja već postojećih simulacionih resursa u sektoru odbrane (prilagođavanje pojedinih simulacionih paketa za vojnu obuku potrebama i specifičnostima vanrednih situacija).

### **Simulacija masovne vakcinacije**

Washington, Mason i Meltzer (2005), u svom radu daju prikaz primene simulacija u slučaju vanredne situacije zbog napada biološkim agensima. U konkretnom primeru reč je o boginjama, koje su u formalno zvaničnom smislu istrebljene (prema podacima i kriterijumima Svetske zdravstvene organizacije), pa je prestala i obavezna vakcinacija za ovu bolest. Međutim, u slučaju ponovne epidemije (slučajno ili namerno izazvane), nastali situacija bi zahtevala vakcinaciju velikog dela populacije u kratkom vremenu. Pretpostavka je da postojeći zdravstveni kapaciteti ne bi bili dovoljni.

U tom cilju razvijena je ideja o uspostavljanju privremenih klinika za vakcinaciju. Centri za kontrolu bolesti i prevenciju iz sastava ministarstva zdravlja SAD obezbedili su kompletnu dokumentacionu podršku za slučaj epidemije boginja kao direktnu pomoć državama i lokalnim zajednicama SAD, koja je dostupna na Internetu. Pored obimnih stručno-medicinskih uputstava za identifikaciju simptoma, opremanje i razvijanje privremenih klinika za vakcinaciju protiv boginja, razvijen je i dat na javnu upotrebu simulacioni paket za proračun broja i strukture ljudstva potrebnog za uspešan rad klinika za vakcinaciju (Meltzer, 2005). Naziv simulacionog programa je „Maxi-Vac“. S obzirom na svoju specifičnu namenu, simulacioni paket je pripremljen za proračun broja lica za rad na klinici uz kriterijum vakcinisanja što većeg broja ljudi za vremenski period od 24 časa (detaljnije o ovom simulacionom paketu i modelu videti kod Washington, Mason i Meltzer, 2005).

### **Kapaciteti za operativnu primenu simulacije**

Primena simulacije u obuci i borbenim dejstvima Kov-a evoluirala je tokom prethodnih decenija i značajno je doprinela borbenoj gotovosti i borbenim mogućnostima KoV. U drugoj polovini 20.veka, obuka u KoV-u uglavnom je bila usredsređena na izazove hladnog rata, pri čemu su lanac komandovanja, struktura snaga, doktrina, mogućnosti i namene bile manje-više poznate. Bojište 21.veka podrazumeva promene ka asimetričnosti i dinamičnosti, postavljajući nove izazove državama, oružanim snagama i strukturama koje se bave primenom simulacije u obuci i borbenim dejstvima.

Iz širokog skupa ljudi i organizacija, koji se na neki način bave simulacijama (analitičari, ugovarači, izvodači, inženjeri, menadžeri), izdvaja se jedna vrsta stručnjaka koji direktno pomažu komandantima da modeli i simulacije budu primenjeni u obuci i borbenim dejstvima jedinica. To su oficiri za simulacione operacije (Grupa autora, 2004). Trenutno, ova grupa je malobrojna, manje od 1% ljudstva u OS SAD. Ali njihova važnost i uloga je svakako veća, oficiri za simulacije su uključeni u planiranje, pripreme i izvršavanje svake združene, multinacionalne, koalicione, ili aktivnosti u samom KoV-u koje podrazumevaju primenu simulacije. U najskorije vreme očekuje se da najmanje po jedan oficir za simulacije bude raspoređen u svaki centar za kombinovanu obuku, a u svaku diviziju po dva oficira za simulacije. Do 2009.godine planirano je da formacijska struktura oficira za simulacije bude preko 200 ljudi u aktivnoj komponenti OS i preko 400 ljudi u Rezervnom sastavu (Lopez F., 2004). Za razliku od prethodnih godina kada su ove formacijske promene bile inicirane odozgo (od Načelnika Štaba KoV-a), najnovije promene strukture inicirane su zahtevima odozdo (iz trupe).

Specijalnost za simulacione operacije (FA 57 -Functional Area 57) je uvedena da bi zadovoljila te zahteve, tako što služi kao "most" i/ili "interfejs" (posrednik) između komandanta i njihovih štabova na jednoj strani, i na drugoj strani različitih simulacionih paketa i alata za primenu u obuci i borbenim dejstvima. Oficiri FA 57 su istovremeno "operateri" za simulacione pakete i vojnici koji poznaju i razumeju vojnu obuku i borbene misije. Prvo i najvažnije, oni su instruktori, eksperti koji razvijaju, planiraju, koordiniraju i izvršavaju vežbovne aktivnosti na svim komandnim nivoima: KoV-a, Združeni, Međuagencijski i Multinacionalni. Ali, oni su i više od toga: oni su simulacionisti, eksperti koji razumeju mogućnosti simulacije i obezbeđuju okruženje za rad komandanata i štabova, za obuku, za planiranje i realizaciju borbenih misija. Uloge, funkcije i dužnosti oficira FA 57 sadržane su u sledeće četiri aktivnosti: Učenje, Obuka, Izvršavanje i Podrška (Lopez F., 2004).



Iznad svega, od oficira FA 57 se zahteva da nađe pravo mesto za simulatore i simulacije, u okviru zadataka jedinica, tako da se poveća, poboljša i podrži sveukupna namena i zadaci jedinice kako u obuci, tako i u misijama uz maksimalno iskorišćenje raspoloživih resursa.

Trenutna organizacijska mesta oficira za simulacije (FA 57), u strukturi KoV-a, su na sledećim nivoima: na taktičkom nivou nalaze se u sledećim jedinicama: brigade, pukovi, divizije, korpusi i armije (važi za obe komponente OS: aktivne i snage u rezervi); u centrima za obuku i usavršavanje, kao što su: Centri za obuku borbenih komandi (BCTC, Battle Command Training Centers), Centar za pripremu ratnika (WPC, Warrior Preparation Center), Nacionalni simulacioni centar (NSC, National Simulation Center), Centar za združeno ratovanje (JWFC, Joint Warfighting Center), i Centri za borbenu obuku (CTC, Combat Training Centers) -u ovim centrima obavlja se simulacioni razvoj i pruža podrška korisnicima na obuci u centrima; u borbenim komandama združenih vojišta i strategijskih operacija, kao i komandama službi KoV-a (Lopez F., 2004).

Dosadašnje korišćenje oficira za simulacije u jedinicama daje izvesnu sliku i o primeni simulacija. U ranijem periodu poznati kao "momci za vežbe i obuku", ili "gurui za simulacije", ipak su dobro prepoznati kod visprenih komandanata, kao "veoma potrebni" u štabovima za planiranje i praćenje realizacije zadataka, ili za obezbeđenje veza. Rad oficira za simulacije veoma doprinosi radu komandanata i štabova, s obzirom da oficir za simulacije dobro poznaje i razume raspored i zadatke jedinica, način održavanja veza, i način rada komande, s obzirom na njegovo iskustvo u planiranju, pripremanju i izvršavanju vežbi.

#### *Izgradnja timskog rada*

Operativna primena simulacija, odnosno primena u rešavanju realnih problema je najviši nivo koji još uvek nije zaživeo u punoj meri u vojnim primenama čak ni kod tehnološki najrazvijenijih zemalja.

Ipak, već sada postoji indirektni efekat ostalih vidova primene simulacija. U empirijskom istraživanju koje su realizovali, Moon, Schneider, i Carley, 2006, došli su do sledećih rezultata koji govore o različitim aspektima unapređenja grupnih i individualnih karakteristika ličnosti:

- Razvoj sposobnosti i veština.
- Razvoj stila (načina) ponašanja i rada.
- Razvoj socijalnih odnosa unutar timova.

Sa aspekta korisnika, simulacija se može shvatiti kao metoda podrške donosiocima odluke koja obezbeđuje sposobnosti za ispitivanje različitih pristupa u rešavanju realnih problema i za proveru različitih ideja za poboljšanja sistema ili procesa.

### 3 OSNOVNI POJMOVI U VOJNIM PRIMENAMA SIMULACIJE

Definicije i objašnjenja koja slede u najvećoj meri proističu iz dokumenata o pojmovnim odrednicama za modelovanje i simulaciju u vojnoj oblasti SAD (DMSO, 1997).

**ALGORITAM** (Algorithm) logički ili matematički konzistentni prikaz sistema, toka procesa ili načina odvijanja situacije.

**AKREDITACIJA** (Accreditation) je zvanično odobrenje da se određeni model, simulacija ili paket sa pratećim podacima i bazama podataka može koristiti za definisanu namenu. Primer: naredba da se određeni simulacioni paket koristi u vojnoj obuci komandi i jedinica.

**ANALITIČKI MODEL** (Analytical model) je skup rešivih jednačina kojima se opisuje posmatrani realni proces ili ponašanje realnog sistema. Mogućnosti definisanja analitičkog modela su ograničene složenošću realnog sistema ili uslovima njegovog funkcionisanja, kao i željenim nivoima verodostojnosti modelskog prikaza realnosti i željenim nivoom rezolucije modelovanja (detaljnost prikaza realnosti u modelu; nivo konkretizacije).

**ANALIZA DOMENA** (Domain analysis) je proces identifikovanja, prikupljanja i pripreme podataka i informacija koje su relevantne za primenu u razvoju modela ili realizaciju simulacionih eksperimenata.

**APSTRAKCIJA** (Abstraction) je misaoni proces odabira najvažnijih elemenata realnog sistema koji se proučava, pri čemu se manje važni elementi i karakteristike realnosti izostavljaju. Kriterijumi ovog odabira opredeljeni su samim ciljem proučavanja realnog sistema.

**ATRIBUT** (Attribute) je svojstvo ili karakteristika elemenata (entiteta) simulacionog modela.

**DOMEN** (Domain) je realni ili apstraktni prostor svojstven nekom aspektu simulacionog entiteta (prostor, vreme, količina, brzina, itd.). Karakteristike prostora, vremena, snaga, tehničkih sredstava, itd. bliže opisuju i određuju svaki pojedinačni element (entitet) u simulacionom modelu. Odgovarajuće vrednosti tih karakteristika nisu proizvoljne već treba da budu verodostojne realnim vrednostima.

**ENTITET** (Entity) je strukturni element modela, koji predstavlja odgovarajući element iz realnog sistema (jedinica, posada, pojedinac, sredstvo) ili opisuje određeni efekat proizveden nekim događajem ili procesom (dejstva, transport, popuna, popravka, itd.).

**EKSPERT** (STRUČNJAK, POZNAVAOC) ZA REALNI SISTEM (Subject matter expert, SME) je lice koje odlično poznaje realni sistem koji se modeluje. Ima ključnu ulogu u razvoju konceptualnog modela i u validaciji rezultata. Njegova znanja su dubinska, celovita, zasnovana na praktičnom iskustvu stečenom kroz relativno dugotrajan rad u odnosnoj oblasti, čemu je prethodilo sticanje formalnih znanja, veština i formalnih zvanja kroz relativno duge procese obrazovanja, obuke i usavršavanja. Ekspert za realni sistem bira se i tako deklarise u formalnom postupku selekcije za učešće u razvoju i validaciji simulacionog modela.

U kontekstu vojne primene simulacije, u ulozi SME pojavljuju se viši oficiri koji su uspešno obavljali čitav niz dužnosti u vojnim jedinicama i komandama i odlično poznaju funkcionisanje vojne organizacije. Takođe, u ulozi SME mogu biti i odlični poznavaoци (ne nužno oficiri) tehničkih sistema koji se modeluju (operatori na složenim sistemima, inženjeri, itd.).

**GENERATOR SLUČAJNIH BROJEVA** (Random number generator, RNG) je modul, obično programerski, koji generiše nizove slučajnih brojeva, pomoću neke od matematičkih procedura ili algoritama za generisanje slučajnih brojeva. Iako je korektnije reći „kvazi slučajni brojevi“, jer se oni dakle dobijaju određenom procedurom, istaknuti kraći naziv je postao opšteprihvaćen. Današnji simulacioni paketi i jezici imaju gotove, unapred projektovane RNG koji se jednostavno koriste. RNG su osnova za formiranje slučajnih veličina u modelu za najrazličitije tipove raspodela slučajnih promenljivih veličina.

**IGRA** (Game) je proces nadmetanja u kome učesnici (igrači) nastoje da ostvare svoje ciljeve u okviru zadatog skupa pravila i dopuštenih resursa.

**KONCEPTUALNI MODEL** (Conceptual model) je deskriptivni i algoritamski prikaz realnog sistema koji se proučava. Obuhvata prikaz elemenata strukture sistema, njihovih veza i odnosa, pretpostavke, ograničenja i podatke. Način funkcionisanja sistema najpogodnije je prikazati u formi algoritma. Ekspert za realni sistem je ključni faktor u definisanju konceptualnog modela.

**KREDIBILNOST** (Credibility) je nivo značajnosti koji korisnik pridaje modelu i nivo uverenosti korisnika da će određeni model ili simulacija poslužiti svojoj svrsi.

**MATEMATIČKI MODEL** (Mathematical model) je simbolički model prikazan matematičkim oznakama i relacijama, koji se odnosi na određeni realni sistem ili neki njegov aspekt. Čine ga, pored jednačina i nejednačina, pretpostavke, definicije i algoritmi.

**MERA PERFORMANSE** (Measure of performance) je pokazatelj uspešnosti sistema ili elementa u izvršenju njegove misije (na primer: vreme reagovanja, verovatnoća pogađanja, brzina doture, opravke, itd.).

**MONTE KARLO SIMULACIJA** (Monte Carlo simulation) je vrsta simulacije u kojoj se primenjuju tehnike statističkog uzorkovanja u cilju dobijanja ocena o nepoznatim vrednostima slučajnih promenljivih kao izlaznih rezultata. Monte Karlo simulacija je svaka simulacija u kojoj barem jedna veličina u modelu ima slučajni (nedeterministički, stohastički) karakter. Sa ovog aspekta posmatrano, praktično svi simulacioni paketi koji se koriste u vojnoj obuci mogu se tretirati kao Monte Karlo simulacija, s obzirom da je na primer proces gađanja izabranog cilja, modeliran kao stohastički, odnosno u modelima figuriraju veličine tipa: verovatnoća pogađanja i verovatnoća uništenja cilja. Ova činjenica je jedan od najvažnijih razloga da se pri obuci i uvežbavanju jedinica ("War gaming"), iste obično ne ocenjuju po kriterijumima tipa "Ko je uništio više ciljeva, ili ko je pobedio".

U razumevanju mesta, uloge i odnosa Monte Karlo simulacije prema simulacijama primenjenim u vojnoj obuci, može pomoći opštija klasifikacija simulacija na dve osnovne grupe (Salt J., 2004):

- simulacije namenjene primeni u vojnoj obuci (razni simulacioni paketi kao gotovi proizvodi), i
- naučno-istraživačke simulacije (Operaciona istraživanja, Sistemi upravljanja vatrom, itd).

**PARAMETAR** (Parameter) konstantna ili promenljiva veličina koja karakteriše elemente strukture sistema i njihove relacije.

**PRIKAZ LJUDSKOG PONAŠANJA** (Human behavior representation, HBR) je entitet u modelu koji prikazuje uticaj pojedinca ili grupe ljudi na posmatrani sistem ili proces. Na primer: rad poslužioca, posade, donosioca odluke, itd. Predstavlja poseban problem, naročito ako se želi verodostojna slika ljudskog ponašanja u borbi. Implementacija punog opusa

mogućih ljudskih reakcija, unosi visok stepen neodređenosti i slučajnosti u modelovanju podataka i elemenata kojima se prikazuje uticaj ljudskog faktora na modelovani proces, situaciju ili sistem. Verodostojno modelovanje ljudskog ponašanja je vrlo teško i u model se unosi dodatna složenost, nelinearnost, dinamičnost i haotičnost.

Empirijski podaci o performansama ljudskog faktora dostupni su iz različitih formalnih evidencija ali samo za mirnodopske uslove. Na primer: službene ocene, ocene jedinica; rezultati postignuti na vežbama; propisane norme za izvršenje pojedinih aktivnosti u procesu obavljanja funkcionalnih dužnosti (vreme punjenja tenka sa borbenim kompletom municije; vreme za zauzimanje elemenata za gađanje; vreme za realizaciju pojedinih aktivnosti tehničkog održavanja sredstava; itd.). Ovi mirnodopski i vežbovni podaci ipak nisu dovoljni i ne obuhvataju uslove koji vladaju u realnom sukobu: zamor, stres, strah, itd. Procene iskusnih stručnjaka za realni sistem i ovde imaju veliki značaj.

Belyavin i Fowles-Winkler, 2003, (prvi autor je istraživač u jednoj od vodećih evropskih naučnoistraživačkih organizacija) u cilju modelovanja raznih aspekata ljudskog ponašanja, navode deset faktora koje treba na neki način obuhvatiti:

- neispavanost (tj. smanjenje sposobnosti zbog neispavanosti);
- fizički zamor;
- toplotni efekti (hladnoća, vrućina);
- vizuelno okruženje (ranjeni, mrtvi, uništena sredstva i objekti, požari, itd.);
- strah, anksioznost, moral;
- radno opterećenje (pretrpanost poslovima, zadacima, obavezama);
- buka (konstantna i sporadična);
- vibracije (u vozilu na primer);
- hipoksija (nedostatak kiseonika; na primer kod pilota);
- visoko G opterećenje (kod pilota).

**SCENARIO** (Scenario) predstavlja konkretan opis jedne vežbe, odnosno jednog eksperimenta. To je skup početnih uslova koji se zadaju za jedan konkretan simulacioni eksperiment. Elementi scenarija obuhvataju sledeće elemente: kontekst vežbe (situacija, stavovi, namere, opšti ciljevi i stanje strana u sukobu); konkretni ciljevi i planovi dejstava; odnosi i relacije (komandne relacije unutar svake vežbajuće strane, između strana i prema kontrolorima igre; resursi (struktura jedinica, zalihe i podrška); sistem praćenja događaja tokom vežbe i instrukcije kontrolnog (sudisjskog) tima.

**SEMANTIKA** (Semantics) je uređeni i celoviti prikaz oznaka korišćenih u algoritmu i modelu i njihovog značenja u odnosu na opis elemenata i veza u realnom sistemu. Semantički pregled je neophodan element dokumentacije u cilju razumevanja korišćenih oznaka.

**SIMULACIJA** (Simulation) je rad modela u funkciji vremena (tj. pokretanje modela da radi i praćenje ponašanja modela snimanjem vrednosti izabranih veličina). Termin simulacija, kao strana reč odomaćio se u našem jeziku, a odgovarajuća naša reč bila bi oponašanje (ponegde se sreće i reč imitacija, ali je i to strana reč).

**SIMULAND** (Simuland) je realni sistem, proces ili situacija koja se proučava, modeluje i simulira.

SIMULATOR (Simulator) je uređaj, računarski program ili sistem koji izvršava simulaciju. Simulatori su posebno konstruisani uređaji koji se koriste u obuci pojedinačnih korisnika (strelci, vozači, nišandžije, piloti, itd.) kao zamena za realno sredstvo. Svojom konstrukcijom i mogućnostima omogućavaju veoma verodostojne uslove obučavanja bliske karakteristikama obuke na realnom sredstvu. Najbitnije karakteristike simulatora sa aspekta verodostojnosti su: vizuelizacija terena/bojišta pred očima korisnika, prostorno pomeranje korisnika (pomeranjem čitave kabine u kojoj se nalazi korisnik – naginjanje, vibracije itd.), zvučne efekte, kao i verodostojni prikaz brzine kretanja, mogućnosti manevra, raspoložive municije i goriva, itd.

Jasno je da su simulatori veoma složeni uređaji pa samim tim i da je njihova cena veoma velika, nekada je bliska i ceni realnog sredstva. Pored primene u pojedinačnoj obuci, tendencija je da se simulatori primenjuju i na nivoima obučavanja višim od pojedinačne obuke. Najbolji primer za to je sistem simulatora pod nazivom MILES 2000 (Multiple Integrated Laser Engagement System). Reč je o kompletu opreme: laseri koji se montiraju na puške; prijemnici laserskog zračenja koji se montiraju na šlemove i telo vojnika, kao i na veća sredstva (tenkovi, vozila); i prateća oprema za kontrolu, evidenciju pogodaka i praćenje vežbe.

SINTETIČKO OKRUŽENJE (Synthetic environment), je računarski prikaz kontekstualnog dela realnog sveta; okruženje simulacionog modela (elementi prostora koji ostvaruju uticaj na elemente modela). Benefiti kvalitetnog Sintetičkog okruženja su: veći nivo realističnosti obuke putem simulacija; fokusiranje na efektivnost sistema, umesto koncentrisanja samo na performanse naoružanja; bolje razumevanje uticaja spoljnih faktora; bolja procena odnosa cena-efikasnost sredstava kroz čitav životni ciklus; viši kvalitet procesa donošenja odluka; unapređenje timskog rada na mikro (posada, jedinica) i makro (između raznih organizacija sistema odbrane i bezbednosti) nivou.

STANJE (State) je interni status pojedinog simulacionog entiteta u određenom trenutku vremena (na primer: nivo rezervi municije i goriva; marševanje, dejstva, transport, čekanje na opravku; broj funkcionalno ispravnih sredstava; itd). Iskazuje se vrednošću promenljivih veličina stanja (varijable stanja sistema). Koje promenljive stanja će biti definisane ili će se pratiti u modelu zavisi od potreba i namene modela.

TIPOVI SIMULACIJA. Jedna od najpoznatijih standardizacija u oblasti simulacionog modelovanja, nudi klasifikaciju tipova simulacija u vojnoj oblasti preko sledeća tri tipa simulacija:

- KONSTRUKTIVNA SIMULACIJA (Constructive simulation) je slučaj gde "virtuelni (simulirani) ljudi koriste virtuelna (simulirana) sredstva". Naravno, ulazne parametre definišu "realni" ljudi, kao i samo startovanje simulacije, ali oni načelno ne utiču na tok rada modela (simulaciju), niti na izlazne rezultate. U oblasti vojne obuke uz primenu gotovih simulacionih paketa, ova vrsta simulacija poznata je još i kao "Ratne igre", ("War game"). Međutim u strogom smislu definicije, pod konstruktivnim simulacijama podrazumevaju se naučno-istraživačke simulacije, odnosno primena simulacije kao jedne od metoda Operacionih istraživanja u istraživanju najrazličitijih problema ne samo u vojnoj oblasti.
- VIRTUELNA SIMULACIJA (Virtual simulation) je tip simulacije gde ljudi (strelci, poslužioci, posade, piloti, komande) koriste virtuelna (simulirana) sredstva. Na nivou obuke pojedinaca i posada (stvarni ljudi), obično je reč o simulatorima za gađanje, vožnju, itd. (nestvarno-virtuelno sredstvo). Strogo sledeći definiciju virtuelne simulacije, ovom tipu pripada i obuka komandi (rad organa komandi i upotreba jedinica). Tu je reč o specijalnim računarskim paketima za simulaciju prikaza

jedinica i bojišta-terena (nestvarna-virtuelna sredstva), a radi stvaranja uslova za rad komandi (stvarni ljudi) koje se obučavaju. Za uvežbavanje komandi koristi se i termin ratne igre. Ovom tipu simulacije pripadaju KŠRV, ŠRV, i sl. (s obzirom na odsustvo primene računara i odgovarajućih simulacionih paketa, KŠRV i ŠRV mogu se shvatiti i kao "ručne" simulacije). Ipak, obuka komandi uz simulacionu podršku obično se tretira kao konstruktivna simulacija.

- ŽIVA SIMULACIJA (Live simulation) je simulacija tipa "stvarni ljudi (poslužioci, posade, komandiri, komande, komandanti) stvarno koriste stvarnu (realnu) opremu (naoružanje, vozila, sredstav veze, itd.)". Ovaj tip simulacije razlikuje se od prave realnosti samo po efektima. Naime protivnička strana je virtuelna (ako je reč o gađanju pravom municijom, protivnik su –mete), ili drugi slučaj kada protivničku stranu proigravaju prijateljske snage, onda je municija virtuelna (vežbovna, laseri, itd.). Simulacija uživo, nije ništa drugo do poligonska gađanja i vežbe vojnika, jedinica i komandi. Otuda i poznata izreka u oblasti vojnih primena simulacija: "Sve osim rata je simulacija!", ("All but war is simulation!").

Tendencija je da se kombinuju i objedine različite vrste simulacija.

RATNA IGRA (War game) je, u najširem smislu, bilo koji način modelovanja rata ili nekog njegovog aspekta ili nivoa. Način realizacije ratnih igara može biti: primenom simulacije; istorijske analize (konkretne kampanje, misije ili rata); sistem analize zamišljenog (budućeg, hipotetičkog sukoba); ili klasičnim vojnim vežbama. U simulacionoj ratnoj igri učesnici nastoje da ostvare određeni vojni cilj, uz početno zadate resurse, uslove i ograničenja, pri čemu se pojedini aspekti njihovih odluka kvantifikuju, beleže i utiču na budući tok igre. Na primer, simulacija u kojoj učesnici donose odluke u sklopu zadate borbene situacije, a kompjuter određuje rezultate-posledice tih odluka po odgovarajućem, unapred zadanom algoritmu.

Mogućnost simulacije da gotovo trenutno da odgovarajuće proračune po zadatim uslovima, sprečava subjektivizam i odstupanja od realnosti koje su inače moguća u klasičnim vojnim vežbama. Na primer, moguće je praćenje nivoa zaliha municije i goriva; otkrivanje protivnika i dejstvo po njemu nije moguće na većoj daljini nego što to dopuštaju tehnička sredstva koja stoje na raspolaganju; visok nivo zahteva za popravkom oštećenih sredstava ne može se samo deklarativno zadovoljiti već se daju jasne kvantitativne mogućnosti i ograničenja; svet to posredno i neposredno utiče na realniju percepciju stvarnih mogućnosti vežbajućih snaga i u tome je suštinska razlika između klasičnih i simulacionih vojnih vežbi.

Međutim, ratna igra nije egzaktni opis realnog sukoba, već način uvežbavanja igrača za uloge vojnih odlučilaca u lancu komandovanja, u kojima se potencijalno mogu naći u pravoj situaciji. Rezultati igre koji su zasnovani na slučajnim faktorima (kao na primer verovatnoća otkrivanja, identifikovanja, pogađanja i uništenja protivnika) su samo usputni efekat procesa vežbanja i ne treba ih vrednovati u smislu „pobedila je strana A, ili strana B zato što je uništila više ciljeva“.

Osnovni konceptualni elementi ratne igre su: ciljevi vežbe; scenario vežbe; baze podataka (o jedinicama, opremi-sredstvima, terenu); modeli; pravila; igrači; i analiza vežbe (Lessons learned). Za različite komandne nivoe i namene postoje različite ratne igre.

REFERENT (Referent) u kontekstu simulacionog modelovanja, predstavlja postojeće formalizovane skupove relevantnih znanja o realnom problemu koji se simulira. Postoji više kategorija referenta: eksperimentalni podaci o funkcionisanju realnog sistema pri poznatim eksperimentalnim uslovima; iskustvo i znanja stručnjaka za realni sistem; matematički i

teorijski modeli koji opisuju ponašanje sistema koji su na određeni način verifikovani; kvalitativni opisi ponašanja sistema; prethodni simulacioni modeli koji su provereni i prihvaćeni; kombinacije prethodnih kategorija.

Postoje slučajevi realnih sistema i procesa koji se u osnovi mogu identifikovati i predstaviti konceptima odgovarajućih teorijskih disciplina. Na primer: ulogu referenta pri simulaciji sistema masovnog opsluživanja ima teorija masovnog opsluživanja; ulogu referenta pri simulaciji lanaca snabdevanja ima teorija upravljanja zalihama; itd. Ove teorije načelno daju rešenja za jednostavnije sisteme, dok se u složenijim slučajevima koriste alternativne metode, kao što je upravo simulacija. Ideja je da se primenjeni simulacioni pristup testira na jednostavnijim modelima i da se tu postigne željena tačnost simulacionih rezultata prema teorijskim, a da se kasnije tako verifikovan simulacioni pristup primeni na složenije modele za koje nije moguća teorijska podrška.

REZOLUCIJA (Resolution) simulacionog modela predstavlja stepen detaljnosti prikaza simulanda (realnog sistema ili procesa koji se modeluje). Primenjeni nivo apstrakcije je još jedan mogući kriterijum za klasifikaciju simulacionih modela i to prema sledećem:

- Ako osnovni objekti prikazani u simulacionom modelu predstavljaju prepoznatljive podceline realnog sistema koji se modeluje (u vojnoj oblasti to su na primer vojne jedinice: vodovi, čete, bataljoni), onda je tu reč o simulaciji na nivou agregata (aggregate-level simulation; najniži elemenat koji se simulira je određeni nivo jedinica-na primer vod, četa, itd.). Simulacioni modeli ovog tipa, do sada su bili korišćeni za obuku na višim nivoima vojne hijerarhije, odnosno za obuku komandi jedinica (nivo brigade, divizije, itd.). Rezolucija simulacionih modela koji su detaljno prikazani u sledećem poglavlju (sa algoritmima u prilogu) je na nivou agregata: najniži celina je tenkovski vod.
- Ako osnovni objekti prikazani u simulacionom modelu predstavljaju pojedinačne (dalje nedeljive) elemente realnog sistema koji se modeluje (u vojnoj oblasti to su na primer vojnici, tenkovi, avioni, itd.), onda je tu reč o simulaciji na nivou entiteta (entity-level simulation; na primer: vojnik, tenk, letelica, itd.). Simulacioni modeli ovog tipa uglavnom se koriste u obuci i proučavanju rada nižih komandnih nivoa (vod, četa). Primer rezolucije simulacionih modela na nivou entiteta može se naći kod Jankovića R., 1997, 2001, gde je za nivo entiteta izabran pojedinačni tenk ("naoružana mobilna platforma", Janković R., 1997).

Najnoviji trendovi u razvoju simulacije, posebno u vojnoj oblasti, kreću se u pravcu objedinjavanja pojedinačnih simulacija. U kontekstu prethodne klasifikacije, aktuelni trend je stvaranje mogućnosti (softverskih i hardverskih) za objedinjavanje jedinačne i kolektivne obuke.

VALIDACIJA (Validation) je proces provere valjanosti simulacionog modela, odnosno provera tačnosti prikaza realnog sistema u modelu, u skladu sa definisanim potrebama proučavanja realnog sistema i izgradnje simulacionog modela (tj. da li model odgovara simulandu koga pretstavlja).

VERIFIKACIJA (Verification) je proces provere saglasnosti simulacionog modela prema konceptualnom modelu, odnosno to je provera uspešnosti i korektnosti softverske implementacije (računarskog programa).

VERODOSTOJNOST (Fidelity) je nivo tačnosti prikaza posmatrane realnosti u simulacionom modelu; mera realizma modela, uz uvažavanje polaznih ograničenja u modelovanju i svrhu izrade modela.

VREME (Time) merljivi aspekt trajanja aktivnosti i procesa. Vremenska jedinica u simulacionim modelima, po konvenciji, može imati različite vrednosti u zavisnosti od potreba i namene modela.

Nekoliko prethodnih pojmova često se sreću pod zajedničkom oznakom- "VV&AC" (Verification, Validation, Accreditation, Credibility), a procesi koje predstavljaju tretiraju se kao veoma važni i razrađen je čitav sistem aktivnosti (naučno-istraživačkih, organizacionih i administrativno-zakonskih) za njihovu primenu i dalji razvoj. Vodeća institucija u ovoj oblasti u Sjedinjenim državama je DMSO (Defense Modeling and Simulation Office). To je i sasvim logično jer se na tržištu simulacionih proizvoda, državni aparat a pre svega ministarstvo odbrane, pojavljuje kao najveći naručilac i kupac simulacionih proizvoda. Pojednostavljeno rečeno, aktivnosti iz domena "VV&AC" predstavljaju svojevrsnu kontrolu kvaliteta i valjanosti simulacionih proizvoda (simulacionih paketa, simulatora, itd.).

U najkraćem, pojam VV&AC, može se objasniti preko sledećih pitanja: Verifikacija – da li je model dobro urađen („Did I build a thing right?“); Validacija – da li je urađen pravi model („Did I build the right thing?“); Akreditacija – Da li model treba koristiti („Should it be used?“); Kredibilnost – Da li se modelu (rezultatima) može verovati („Should it be trusted?“).

Primena simulacionih tehnologija u vojnoj oblasti je širok pojam. Zavisno od toga kom tipu korisnika su namenjeni, simulacioni programski paketi i oprema se mogu razvrstati prema sledećem:

- Simulatori i trenažeri za potrebe kopnene vojske.
- Simulatori i trenažeri za potrebe vazduhoplovnih snaga.
- Simulatori i trenažeri za potrebe pomorskih snaga.
- Simulatori i trenažeri za komandovanje, kontrolu i izviđanje).
- Obuka podržana računarima.
- Sistemi za vizuelno i grafičko prikazivanje.
- Sistemi za učenje primenom računara.
- Simulacioni paketi za modelovanje (nauka, istraživanja, edukacija i operativna primena).

Svaki simulacioni paket za vojnu obuku načelno sadrži sledeće funkcionalne komponente, (prema Smith R. 1998):

- Generator scenarija,
- Interaktivni interfejs (za pristup lica koje se obučavaju),
- Interfejs kontrole (za pristup kontrolora simulacione obuke),
- Baza izlaznih rezultata (za analizu simulacione igre),
- Glavni simulacioni modul i
- Modul za upravljanje računarskom mrežom.

U cilju lakšeg shvatanja mesta i uloge simulacija u vojnoj oblasti, od pomoći je jedna klasifikacija (Davis i Bigelow, 1998, str.8) koja povezuje osnovne hijerarhijske nivoe oružanih sukoba, nivoe vojnih jedinica, nivoe detaljnosti modela, vremensku dimenziju

relevantnu za modelovanje, pokazatelje izlaznih rezultata i njihovu primenu, i primere simulacionih paketa (koji su bili aktuelni u to vreme).

Tabela 3.1. Klasifikacija modela prema nameni i rezoluciji

| Opšta klasifikacija modela prema nameni, obimu i rezoluciji (Davis, Bigelow, 1998) |                                    |  |                            |   |   |  |
|--|------------------------------------|--|----------------------------|---|---|--|
| Nivo modela  | Obim obuhvata realnosti            | Nivo detaljnosti prikaza                                   | Vremenska dimenzija        | Izlaz   | Primena   | Primer paketa                          |
| Ratište/<br>kampanja   | združene i kombinovane snage       | visok nivo agregiranosti entiteta (jedinice kao celine)    | dani ili nedelje           | Dinamika kampanje                               | Evaluacija strukture snaga, strategije i doktrine; odnosa snaga; ratne igre   | CEM,<br>TACWAR,<br>Thunder,<br>JICM    |
| Misija/<br>bitka   | različite platforme                | umerena agregacija, sa nekim entitetima                    | minuti ili sati            | Efektivnost u misiji                            | Evaluacija alternativnih načina upotrebe snaga, primene različitih koncepata; angažovana različitih sistema; ratne igre | NSS,<br>EADSIM,<br>Eagle,<br>Vector II |
| Angaž-<br>man<br>jedinice  | nekoliko istih entiteta            | pojedinačni entiteti, sa pojedinim detaljnim pod-sistemima | sekunde ili minuti         | Efektivnost sistema (pr. verovatnoća uništenja) | Evaluacija alternativnih taktičkih radnji; obuka  | Janus,<br>Brawler,<br>ESAMS            |
| Inžinje-<br>rstvo  | pojedinačno sredstvo-<br>platforma | detaljni prikaz do nivoa pojedinačnih elemenata            | delovi sekunde ili sekunde | Mere performansi sistema                        | Konstrukcija i evaluacija sistema i podsistema platformi: podrška testiranju  | Različiti istraživački modeli          |

## 4 METODOLOŠKI PRISTUP RAZVOJU SIMULACIONIH MODELA

U simulacionoj oblasti, kao opšteprihvaćeni pristup u razvoju simulacionih modela, dominira sedmofazna struktura postupka razvoja modela, prema sledećem:

- Formulisanje problema.
- Prikupljanje informacija i razvoj konceptualnog modela.
- Validacija konceptualnog modela.
- Računarska implementacija konceptualnog modela.
- Validacija računarske implementacije modela.
- Planiranje, izvršenje i analiza simulacionih eksperimenata.
- Izrada dokumentacije i izveštaja o rezultatima.

Nabrojane faze razvoja simulacionog modela čine jedinstvenu celinu, koja se u literaturi često imenuje i kao simulaciona studija. Aktivnosti koje se provode u različitim fazama su iterativnog karaktera.

### 4.1 FORMULISANJE PROBLEMA

Na samom početku neophodno je jasno definisati kakav model se želi razviti, za koju namenu i šta se želi postići sa njim. Poželjno je da odgovori na ova pitanja budu što konkretniji i da su konzistentni međusobno. Značajno je razdvojiti bitne i za željeni model manje bitne entitete, podatke i relacije. Potrebno je jasno definisati karakter i format mera performansi koje se žele kao izlazne veličine u simulacionim eksperimentima. Nivo željene konkretizacije (rezolucije) u modelu je takođe jedan od elemenata koji treba definisati na početku.

Formulisanje problema je u nadležnosti donosioca odluka za koga se radi simulacioni model. Ovde se sreću nosioci i predstavnici dve klase znanja: ekspertska znanje o realnom sistemu-procesu i simulaciono modelovanje. Potrebno je sagledati potrebne resurse i proceniti vreme za realizaciju svih aktivnosti.

Svaki model predstavlja manje ili više pojednostavljenu sliku realnosti. To znači da su neki elementi, relacije ili aspekti realnog problema izostavljeni iz modela kao relativno nevažni sa aspekta deklarisanе namene modela. Šta nije nužno prikazati u modelu određuje ekspert za realni sistem i ti podaci se jasno ističu i dokumentuju pod naslovom ograničenja modela. Komplementarno ograničenjima, deklariše se i domen modela, odnosno šta model obuhvata i do koje dubine.

U praksi, naročito u slučajevima složenijih i stohastičkih modela, teško je odmah u prvom koraku dati strogu formulaciju problema. Iteracijama kroz aktivnosti u narednim fazama, moguće je i poželjno dostići potpunost i strogost formulacije problema koji se modeluje.

Dobra formulacija problema obuhvata sledeće iskaze:

- Šta se modeluje (sistem, proces ili situacija u celini, ili pojedini segmenti).
- Zbog čega, sa kojim ciljem, odnosno šta je namena modela (obuka, istraživanje, operativna primena; uvid u tok procesa; procena očekivanih –srednjih vrednosti izabranih mera performansi; generisanje skupa mogućih scenarija; itd).

- Koja su ograničenja modela (koji elementi realnog problema nisu od interesa i ne modeluju se; šta je nije raspoloživo od podataka iz realnog sistema; itd.).
- Koji su domeni modela i tip ulaznih podataka (koji elementi i njihove veze se moraju obuhvatiti modelom; šta je raspoloživo od podataka iz realnog sistema; koje su veličine determinističke, a koje stohastičke prirode).
- Kakav je tip, broj i format izlaznih podataka (koje mere performanse se žele proučavati; da li se žele samo prosečne ocene vrednosti, ili su potrebne i funkcije raspodele; da li se želi grafički prikaz mera performansi; koji nivo tačnosti izlaznih rezultata se očekuje).

#### 4.2 PRIKUPLJANJE INFORMACIJA I RAZVOJ KONCEPTUALNOG MODELA

Da bi se kreirao konceptualni model mora se dobro poznavati realni sistem ili proces koji se proučava. U tom cilju prikupljaju se informacije o strukturi i elementima sistema ili procesa, kao i informacije o načinu funkcionisanja sistema ili odvijanja procesa. Polazna osnova za definisanje konceptualnog modela je opisni prikaz realnog problema koji daje ekspert za realni sistem.

Emirijski podaci statističkog karaktera se takođe prikupljaju, što često predstavlja veliki problem zbog nedovoljno ažurne, nestandardizovane ili nepotpune evidencije. Problem kvaliteta, kvantiteta i raspoloživosti empirijskih podataka je česta pojava u raznim oblastima (Law, u Sargent, 2000), a posebno u vojnoj (Cowdale, 2006; Nikolić, 2004). Ovi podaci su osnova za određivanje vrednosti numeričkih parametara koji karakterišu veličine ulaznih stohastičkih promenljivih u budućem simulacionom modelu.

Na osnovu elemenata strukture, njihovih međusobnih relacija, podataka i ograničenja, formira se detaljni algoritam funkcionisanja proučavanog sistema, odnosno način odvijanja posmatranog procesa. Nivo detaljnosti opisa i prikaza u konceptualnom modelu zavisi od više faktora: ciljeva koji se žele postići; mera performansi koje su od interesa za proučavanje; dostupnosti podataka; mogućnosti i ograničenja računarskih resursa (opreme i programa); mišljenja eksperata za realni sistem-proces; i vremenskih i novčanih ograničenja za realizaciju simulacionog projekta.

Iz aspekta eksperta za realni sistem, konceptualni model predstavlja šemu sistema ili procesa koji se modeluje, sa svim relevantnim elementima, vezama između elemenata, ograničenjima i podacima. Iz aspekta stručnjaka za simulaciju, konceptualni model je u suštini jedan konzistentni algoritam upotpunjen sa skupovima podataka i objašnjenjima o načinu funkcionisanja.

Pri razvoju elemenata strukture konceptualnog modela, veza između tih elemenata, kao i broja, tipa i formata izlaznih podataka, stalno se mora imati na umu krajnja svrha i namena kreiranja modela. Da bi se ovo uspešno izvršilo treba slediti sledeće preporuke pri razvoju konceptualnog modela: realizam, transparentnost, fleksibilnost, evolucioni potencijal i pogodnost za primenu (Davis, Bankes Kahan, 1986).

- Realizam modela. Elementi strukture i veze u modelu treba da budu verna i shvatljiva slika realnog sistema u smislu tretmana istog tipa ulaznih podataka, stuktturnih elemenata i veza i izlaznih podataka odnosno mera performansi koje se prate.
- Transparentnost modela. Logika modela treba da korespondira sa logikom realnog sistema ili procesa. Struktura i način funkcionisanja modela mora da odgovara

strukturi i načinu funkcionisanja realnog sistema. Tada će model biti razumljiv ne samo sistem analitičaru, već i ekspertu za realni sistem.

- Fleksibilnost. Model se treba razvijati tako da su moguće različite varijacije od tipa ulaznih podataka, preko broja i vrste elemenata strukture modela i njihovih međusobnih veza, pa do broja, tipa i formata izlaznih podataka. Alternativno, u složenijim slučajevima može se ići na razvoj familije modela kojima bi se obuhvatile sve željene varijacije.
- Evolucioni potencijal ili postepenost u razvoju modela. Model treba razvijati postepeno po principu od jednostavnijeg ka složenijem. Najpre se definišu osnovni ili najvažniji elementi i njihove veze, a zatim se model proširuje i dograđuje.
- Pogodnost za upotrebu. Način zadavanja ulaznih vrednosti i praćenje izlaznih vrednosti treba da je što jednostavnije i oslobođeno programerskih tehničkih detalja, kako bi korisnik mogao da efikasno koristi model i bude koncentrisan na eksperimentisanje i analizu rezultata.

#### 4.3 VALIDACIJA KONCEPTUALNOG MODELA

Validacija konceptualnog modela predstavlja proveru konzistentnosti modela prema realnom sistemu ili procesu koji se modeluje. Model treba da bude verodostojna slika realnosti koju predstavlja sa aspekta unapred definisanih potreba koje treba da zadovolji. Validacija je upravo provera te verodostojnosti.

Za kvalitetnu validaciju od presudne važnosti je mišljenje poznavaoa (eksperta za realni sistem) realnog sistema ili procesa koji se modeluje. Kvalitetna validacija podrazumeva detaljni pregled svih elemenata, veza, odnosa, podataka implementiranih u konceptualni model. Tokom ovog pregleda ekspert za realni sistem procenjuje verodostojnost i adekvatnost svih tih elemenata, veza i podataka iz konceptualnog modela, prema svojoj-ekspertskoj percepciji realnog sistema odnosno procesa.

Validacija modela je aktivnost koja zahteva dosta napora, vremena i pažnje, kao i dobre komunikacijske veštine i odnose obe strane: sistem analitičara koji prezentira konceptualni model i eksperta za realni sistem koji daje mišljenje, predloge i primedbe na predloženi konceptualni model. Zbog važnosti i složenosti validacije, u literaturi se mogu naći pokušaji formulisanja metodološke podrške i razvoja procedura koje bi olakšale i unapredile sam proces validacije simulacionih modela (Min, Ma i Yang, 2007).

#### 4.4 RAČUNARSKA IMPLEMENTACIJA KONCEPTUALNOG MODELA

Računarska implementacija validnog konceptualnog modela, nije ništa drugo do izrada računarskog programa simulacionog modela. Konceptualni model, prikazan kao algoritamska šema, sada se prevodi u programske naredbe odgovarajućeg računarskog programa.

Sastavni deo ovog koraka je verifikacija računarskog programa, odnosno njegova provera u smislu da li odgovara početnoj algoritamskoj šemi i da li implementirani model funkcioniše onako kako se očekuje od jednog računarskog programa. U slučaju obimnijih, složenijih ili detaljnijih modela povećava se dužina programskog koda, što povećava mogućnost pojave grešaka a to znači i duži proces verifikacije, odnosno otklanjanja grešaka inherentnih svakom procesu računarskog programiranja.

Postoji više različitih računarskih (programskih) jezika. Na izbor konkretnog jezika utiče više faktora: raspoloživost (dostupnost) programa; cena, podrška i uslovi korišćenja; namena i mogućnosti programa; performanse postojeće računarske opreme; raspoloživost i obučenosn programera, itd. U suštini, postoji gruba podela računarskih jezika na opšte i namenski specijalizovane jezike. Specijalizovani jezici i paketi za simulaciju sus svakako bolji izbor za izradu simulacionih modela.

#### 4.5 VALIDACIJA RAČUNARSKE IMPLEMENTACIJE MODELA

Validacija računarske implementacije modela podrazumeva proces provere valjanosti simulacionog modela prema realnom sistemu ili procesu koji je modelovan, odnosno prema referentu. Ako je model verodostojno prikazao strukturne elemente, njihove veze i odgovarajuće ulazne podatke, onda se može očekivati da će i izlazni rezultati koje model generiše kroz eksperimente biti podudarni sa rezultatima koji su snimljeni na realnom sistemu ili procesu.

Međutim, problem je u tome, naročito u vojnim primenama, da realni podaci jesdnostavno ne postoje ili nisu dovoljni za statističko zaključivanje. U tim slučajevima je pomoć, mišljenje i procena eksperata za realni sistem neophodna.

Validacija simulacionog modela moguća je i poželjna i prema odgovarajućim teorijskim i matematičkim modelima ukoliko su oni raspoloživi. To na žalost nije čest slučaj za složenije tipove modela. Ipak, tu mogućnost treba maksimalno iskoristiti makar i za jednostavnije modele za koje postoji teorijski opis i rešenje. Na taj način stiče se uvid u valjanost i snagu primenjene simulacione metodologije, koja tako verifikovana može sa logičkom pouzdanosću biti primenjena na složenije varijante simulacionog modela.

#### 4.6 PLANIRANJE I ANALIZA SIMULACIONIH EKSPERIMENATA

Planiranje i realizacija eksperimenta predstavlja simulaciju u najužem smislu. Prva aktivnost jeste planiranje eksperimenta. To podrazumeva pripremu skupova vrednosti ulaznih veličina i parametara sistema, određivanje broja ponavljanja eksperimenta, određivanje parametara koji se proučavaju odnosno koji se snimaju kao izlazne veličine i forme njihovog prikaza, itd.

Realizacija simulacionog eksperimenta, odnosno puštanje simulacionog modela u rad, podrazumeva određeni broj ponavljanja simulacije pri čemu se variraju vrednosti ulaznih podataka i parametara sistema, zavisno od toga koje karakteristike ponašanja sistema se žele proučavati i koji uslovi okruženja se mogu očekivati.

Analiza i prezentacija rezultata eksperimenta, te izvlačenje zaključaka su završni i konačni cilj simulacione studije. U ovom koraku dolazimo do odgovarajućih spoznaja o ponašanju modela i to prenosimo na realni sistem. Rezultat toga mogu biti konkretne akcije za promene u realnom sistemu, kao na primer: izmene organizacijsko-formacijske strukture jedinica, poboljšanje obučenosni, izmene procedura rada i pojedinih aktivnosti, izmene u sistemu ešeloniranja materijalnih rezervi, itd.

#### 4.7 IZRADA DOKUMENTACIJE I IZVEŠTAJA O REZULTATIMA

Potpuno i kvalitetno dokumentovanje svake aktivnosti u razvoju simulacionog modela je od izuzetne važnosti iz mnogo razloga a pre svega zbog njegove pravilne primene i korišćenja u budućnosti.

Korisniku modela moraju biti poznate i dostupne sledeće informacije:

- šta predstavlja simulacioni model;
- za koje namene je razvijen;
- koja su ograničenja i pretpostavke u modelu;
- kakav je algoritam modela;
- koji je skup ulaznih podataka koji se može menjati;
- koji je format i način zadavanja ulaznih podataka;
- šta su izlazni podaci i u kojoj formi se dobijaju i prikazuju;
- kakva je tačnost simulacionih rezultata i kako se ona kontroliše;
- u kom programskom jeziku (ili okruženju) je razvijen model;
- kakvi računarski resursi su potrebni za rad modela;
- ko je razvio računarsku implementaciju modela i koje su mu reference;
- algoritamski prikaz modela;
- listing programa;
- pregled oznaka u modelu i njihovog značenja; itd.

Dokumentacija o simulacionom modelu treba da omogući da svako kome je ona raspoloživa može da proveri model i da ga efikasno koristi.

#### 4.8 SIMULACIJA I DRUGE NAUČNE DISCIPLINE

Simulaciono modelovanje je u punom smislu multidisciplinarna oblast. Poznavanje realnog sistema ili procesa koji treba modelovati i proučiti je polazni skup znanja u simulaciji. To znanje u slučaju vojne problematike, podrazumeva i bogato praktično iskustvo pored formalnih kvalifikacija.

Opšte naučne metode. Analiza realnog sistema ima važno mesto na samom početku modeliranja u fazi razvoja konceptualnog modela. Analizom se stiče uvid u elemente strukture realnog sistema i njihovih veza i odnosa. Sinteza ima svoje mesto u procesu definisanja algoritma i računarske implementacije simulacionog modela.

Informatika i programiranje su oblasti koje su nezaobilazne pri razvoju i implementaciji modela u formu računarskog programa. U kontekstu oblasti informatike, takođe su neophodna i znanja o projektovanju informacionih sistema, što je u stvari preduslov za uspešno koncipiranje i realizaciju računarskog programa simulacionog modela.

Teorija verovatnoće i matematička statistika su neophodne za razumevanje i modelovanje slučajnih veličina u modelu, kao i u završnoj fazi kada se planiraju i realizuju simulacioni eksperimenti i kada se obrađuju izlazni simulacioni rezultati. Može se reći da su ove discipline i njihova pravilna primena od fundamentalnog značaja u oblasti simulacionog modelovanja. Naime, u proučavanju kompleksne realnosti koja podrazumeva obuhvat i faktora slučajnog karaktera, često smo suočeni sa teškoćama da realni problem opišemo nekim teorijskim modelima i metodama inače primenljivim u jednostavnijim slučajevima. Upravo zato se i pribegava metodologiji simulacionog modelovanja.

Modelovanje slučajnih veličina je na neki način inherentno svojstvo simulacionog modelovanja. Slučajne veličine, u opštem značenju impliciraju neodređenost odnosno nedovoljno znanje o tome koje konkretne vrednosti te veličine mogu da imaju.

U matematičkom smislu, pod slučajnom veličinama podrazumevamo one veličine koje mogu imati sasvim određeni skup vrednosti, pri čemu svaka od tih mogućih vrednosti ima neku verovatnoću pojave. Zakonitost koja izražava mogućnost da se konkretna vrednost pridruži slučajnoj promenljivoj veličini naziva se raspodela slučajne veličine. Jasno je da može postojati više funkcionalnih oblika ove zakonitosti. Neke od njih su karakterističnog oblika sa odgovarajućim parametrima čijim variranjem dobijamo čitave podskupove mogućih oblika raspodele.

Tako na primer imamo sledeće raspodele slučajnih promenljivih:

- Ravnomernu (Uniformnu) raspodelu,
- Eksponencijalnu raspodelu,
- Normalnu raspodelu (Gaus-Laplasovu) raspodelu,
- Triangularnu raspodelu,
- Erlangovu raspodelu,
- Gama raspodelu,
- Wejbulovu raspodelu,
- Lognormalnu,
- Beta raspodelu,

Navedeni tipovi raspodele slučajnih promenljivih imaju svoj matematički opis u obliku odgovarajuće matematičke funkcije. Pored toga, funkciju raspodele slučajne promenljive moguće je zadati i kao empirijsku raspodelu, koja se ne može opisati ili aproksimirati nekom od navedenih tipova funkcionalne zavisnosti. Snaga simulacionog modelovanja je upravo u mogućnosti da efikasno pokrije bilo koju od navedenih funkcionalnih zavisnosti slučajnih veličina.

Sledeći aspekt primene teorije verovatnoće i matematičke statistike je u procesima planiranja simulacionih eksperimenata i obradi izlaznih rezultata simulacije. Simulacija nije ništa drugo do statistički eksperiment, pa shodno tome sledi važnost pravilne statističke obrade rezultata.

Nivo primene statističkih metoda zavisi i od namene modela. Na primer, ako je reč o simulacionom modelu za obuku lanca komandovanja u jednoj jedinici sa učešćem ljudskog faktora, rezultati koji se dobiju tokom jedne vežbe predstavljaju samo jedan statistički element koji je apsolutno nedovoljan za statističko zaključivanje, ali je dovoljan u smislu obuke jer su učesnici bili izloženi određenom scenariju vežbe u kome su morali da donose određene odluke i izvršavaju određene aktivnosti. U suprotnom slučaju, kada je cilj spoznaja o očekivanim (ili srednjim) vrednostima za mere performanse od interesa, neophodno je realizovati veći broj simulacionih eksperimenata pod istim eksperimentalnim uslovima.

U novije vreme, za proučavanje fizionomije savremenih oružanih sukoba predlaže se primena i realizuju se prvi pokušaji primene, sledećih disciplina: Teorija haosa, Teorija kompleksnih adaptivnih sistema, i druge.

## 5 FIZIONOMIJA SAVREMENOG RATA

Poslednjih godina dolazi do intenzivnog preispitivanja postojećeg znanja i pogleda na prirodu i karakter savremenih oružanih konflikata. Istražuju se uzroci i polsedice, kao i pravci traženja mogućih odgovora na savremene izazove prisutne u različitim modalitetima angažovanja vojnih snaga, do te mere da pojedini istraživači postavljaju i generalno pitanje o svrsi i nameni postojanja vojske (Klark, 2005).

Savremene armije su pred velikim izazovima. Vojske se, po pravilu, spremaju za eventualne buduće oružane sukobe u funkciji odbrane jednog društva. U tom cilju proučavaju se: iskustva prošlih ratova; prate se dostupne informacije o odvijanju tekućih oružanih sukoba; i koriste se različite metode za predviđanje mogućih karaktersitika budućih sukoba. Kvalitet analitičkog proučavanja prošlih ratova, kvalitet percepcije sadašnjih oružanih sukoba i kvalitet prognoze karakteristika budućeg sukoba, determinišu nivo spremnosti i pripremljenosti oružanih snaga za izvršenje njihove osnovne funkcije u neposrednoj i daljoj budućnosti. U tome je osnovni značaj proučavanja fizionomije savremenog rata.

Kakav može biti budući oružani sukob, je pitanje sa više mogućih odgovora. Pripreme vojske za rat podrazumevaju čitav niz veoma važnih oblasti: opremanje sa naoružanjem i vojnom opremom (NVO), organizacijske promene, doktrinarne promene, raspoređivanje resursa i razvoj infrastrukture, itd.

Karakteristike savremenih ratova kao što su asimetričnost, nelinearnost, dinamičnost, nepredvidljivost, relativna kratkotrajnost i visok intenzitet, u velikoj meri ograničavaju primenu drugih metoda pri proučavanju fizionomije savremenog ratovanja. Navedene karakteristike savremenog rata, na neki način predstavljaju korak u konkretizaciji „Magle rata“ –poznatog pojma iz klasičnih dela o vojnoj nauci.

### 5.1 PREGLED POJMOVNIH ODREDNICA O SAVREMENOM RATOVANJU

AGILNOST (Agility) je sposobnost pojedinca, jedinice ili organizacije da efikasno odgovara na izazove okruženja u kome se nalai. Agilnost je svojstvo koje proističe iz sinergičkog efekta više drugih osobina kao što su: robustnost, fleksibilnost, inovativnost, prilagodljivost i sposobnost adekvatnog reagovanja. Sinergički efekat je osnovi agilnosti. Sinergički efekat predstavlja fenomen u kome kombinovano, sinhronizovano i jednovremeno dejstvo više različitih elemenata proizvodi efekat koji je veći od prostog zbira pojedinačnih efekata tih elemenata.

ASIMETRIČNO RATOVANJE je slučaj sukoba u kome postoji izrazita disproporcija u kvantitativnom i kvalitativnom odnosu snaga. Tada, po pravilu, svaka strana primenjuje različite koncepte borbenih dejstava težeći da iskoristi svoje komparativne prednosti sa aspekta snaga, ali i sa aspekta prostora, vremena, međunarodnih političkih, medijskih, ekonomskih i drugih okolišnosti.

EKSPLORATORNA ANALIZA (Exploratory Analysis). Analiza koja sistematski istražuje rezultate dobijene variranjem vrednosti ključnih ulaznih parametara. Promene vrednosti parametara vrši se simultano (više istovremenih promena), što je i osnovna razlika u odnosu na normalnu analizu osetljivosti. Uz svestrano i duboko prisustvo neizvesnosti u opisu i analizi posmatranog procesa ili sistema, teško je govoriti o nalaženju „najbolje ocene“ vrednosti posmatranih performansi, osim za međusobna poređenja pojedinih skupova izlaznih rezultata. Jedan set rezultata ne uzima se kao konačni rezultat ili predikcija ponašanja modela, već se tretira kao jedan od mogućih rezultata. Skup različitih rezultata u funkciji varijacije



vrednosti ulaznih parametara, ne daje jedno jedinstveno rešenje, već mu je namena da donosiocu odluke obezbedi uvid u način odvijanja procesa i moguće opcije, kroz relacije i same vrednosti ulaznih i izlaznih parametara.

**FLEKSIBILNOST, ADAPTIVNOST, ROBUSTNOST** (Flexibility, Adaptiveness, Robustness, FAR). Spremnost za divergentne i nepredviđene misije (Fleksibilnost). Spremnost za efektivne operacije u različitim okolnostima (Adaptivnost, prilagodljivost). Sposobnost da se izdrži i oporavi u nepredviđenim iznenadnim ugrožavajućim okolnostima (Robustnost).

**FOKUSIRANA LOGISTIKA** (Focused Logistics). Osnovna ideja fokusirane logistike je bolje, brže i efikasnije obezbeđenje logističkih potreba vojnih jedinica primenom inovativnih postupaka i procedura, nove organizacije logističkih jedinica, novog sistema ešeloniranja zaliha i novih tehnologija. Koncept fokusirane logistike polazi od stava da je moguće unaprediti i ubrzati tokove informacija i materijala uz primenu savremene telekomunikacione i informatičke opreme i transportnih kapaciteta, uz posledično smanjenu potrebu za gomilanjem rezervi i zaliha na različitim, pre svega taktičkim, nivoima ešeloniranja. Fokusiranu logistiku karakteriše: fleksibilnost, preciznost, pravovremenost i modularnost.

**HIBRIDNE PRETNJE**. Aktualnost razmatranja fizionomije savremenih ratnih sukoba, proističe iz dinamičke prirode fenomena oružanog sukoba, a eksterni indikator ovog stava pruža analiza jednog od tekućih oružanog sukoba (Hofman, 2009). Karakter oružanog sukoba odlučujuće determiniše strukturu, obučenosť i opremljenost vojnih snaga. Hofman ističe četiri poznata i jedan novi tip tzv. „škole mišljenja“, koje sugerišu različite orijentacije u predviđanju karaktera dominantnog tipa budućih sukoba :

- „Protivpobunjenička“ orijentacija ističe potrebu pripreme oružanih snaga za protivpobunjenička dejstva kao najverovatniji oblik angažovanja.
- „Tradicionalistička“ orijentacija je usmerena na konvencionalnu percepciju karaktera sukoba.
- „Utility infielders“ orijentacija (mogla bi se prevesti kao univerzalistička orijentacija) sugeriše balans rizika pojave različitih tipova pretnji na bojnopolju, i teži ka razvoju agilnih snaga sposobnih da odgovore na bilo koji tip pretnje.
- Orijetacija na principu „Podele rada“ sugeriše potrebu specijalizacije snaga za različite misije.
- „Hibridne pretnje“. Prema nekim analitičarima, oružani sukobi u budućnosti imaju složeniji karakter, sa multimodalnim ili multivarijantnim oblicima simuliranih pretnji. Hibridne pretnje na bojnopolju budućnosti podrazumevaju širok spektar primene različitih taktičkih postupaka i tehnoloških mogućnosti i sredstava, rasprešenih po prostornoj i vremenskoj dimenziji.

**LINEARNO RATOVANJE** (Linear warfare). Termin linearno ratovanje odnosi se na klasični oblik ratovanja, koga karakteriše: grupisanje snaga u linijama; jasne granice između protivnika (front); gde se izražava težište odbrane i glavni pravac napada; gde postoje jasne vremenske odrednice (faze) u planiranju razvoja dejstava i napredovanja; napada izražava lini

**MREŽNI RAT** (Netwar). Ovaj termin uveli su Argila i Ronfild (1993). Označava vrstu konflikta u kome učesnici koriste mrežnu strukturu u svom organizovanju, komunikaciji, doktrini i strategiji. Mrežno organizovanje podrazumeva decentralizaciju i disperziju u više manjih autonomnih grupa koje funkcionišu i komuniciraju međusobno bez strogo centralnog

rukovođenja. Protagonisti mrežnog rata nisu samo države, već to mogu biti i drugi subjekti kao što su kriminalne, terorističke, ultraverske, ultranacionalne organizacije, nelegalni trgovci oružjem, ljudima, itd. Decentralizovane autonomne entitete povezuju pre svega zajednički interesi, ciljevi, doktrina i strategija (“Centralizovana doktrina i decentralizovana taktika”, Argila i Ronfild, 1996). Asimetričnosti odnosa snaga u sukobu su generator ovog tipa ratovanja. Ovaj vid ratovanja, po svojoj suštini nije nov, ali je snažan zamah dobio sa razvojem i širokom upotrebom informacionih tehnologija.

Disperzija smanjuje mogućnost otkrivanja od strane protivnika, povećava sposobnost preživljavanja u sukobu, smanjuje veličinu gubitaka, zbunjuje protivnika odsustvom “jasnog” rasporeda snaga, itd. Decentralizacija omogućava brzinu u razmeni informacija i koordinaciji za delovanje. Autonomnost omogućava inicijativu i kreativnost u odlučivanju i delovanju.

Karakter mrežnog rata dovodi u pitanje prostorne, vremenske i druge odrednice klasične percepcije ratovanja: nestaje granica između mira i rata; ofanzive i odbrane; civila i vojnika; dolazi i do promena u primeni zakona i običaja ratovanja; uloge, odgovornosti i zadaci političara, vojnika, policajaca, obaveštajaca, i drugih se prepliću.

**MREŽNOCENTRIČNO OPERATIVNO OKRUŽENJE** (Net-centric Operational Environment) je koncept o visokom nivou povezanosti združenih snaga po kojem one razmenjuju podatke, informacije i znanja putem umrežavanjem povezanih tehničkih sposobnosti. Koncept obuhvata: Upravljanje znanjem (Knowledge management), Upravljanje mrežom (Network management) i Bezbednost informacija (Information assurance). Kritični problemi u ostvarivanju efikasnog i efektivnog mrežnocentričnog okruženja su: upravljanje znanjem i tehnička povezivost i interoperabilnost. Ovo je novi koncept koji se upravo razvija, sa ciljem da bude potpuno uspostavljen do 2015 godine u vojsci SAD (prema Pravilu, “Net-centric operational environment, Joint integrating concept”).

**UPRAVLJANJE ZNANJEM** (Knowledge management) je sistematski proces otkrivanja, odabira, razvrstavanja, izvlačenja (pronalaženja), razmene, razvoja i korišćenja informacija u cilju poboljšanja borbene efektivnosti. Prosti je rečeno, cilj je da prava osoba dobije pravu informaciju u pravo vreme.

**MREŽNOCENTRIČNO RATOVANJE** (Networkcentric warfare). Podrazumeva raspršenost (dekoncentraciju) snaga u prostoru i njihovu odličnu i potpunu informacionu povezanost. Ovaj koncept karakteriše sledeće: visoki nivo informatičke povezanosti; velika raspoloživost informacija za sve učesnike u mreži a prema njihovim potrebama i nadležnostima; nadmoćni sistemi naoružanja (domet, preciznost, razornost); visoka mobilnost snaga; efikasni sistem komandovanja; uvezanost sa senzorskim sistemima; primenljivost na svim nivoima ratovanja, i potencijalom za objedinjavanje strategijskog, operativnog i taktičkog nivoa.

**PLANIRANJE ZASNOVANO NA SPOSOBNOSTIMA** (Capability Based Planning, CBP). Pristup planiranju uz prisustvo neizvesnosti koji obezbeđuje sposobnosti za široki spektar savremenih izazova i okolnosti u kontekstu ekonomskih mogućnosti –ograničenja koja uslovljavaju prioritete izbore.

**NELINEARNO RATOVANJE** (Non-linear warfare). Nelinearno ratovanje je termin koji označava primenu nelinearnih dejstava u izvođenju oružane borbe, odnosno izvođenje pre svega ofanzivnih dejstava na taktičkom i operativnom nivou u više pravaca istovremeno (Edwards, 2005). Glavni izvori nelinearnosti su: manevarski rat; gerilski rat i specijalne operacije; i svarming.

**SAMOSINHRONIZACIJA** (Self-synchronization) predstavlja sposobnost informaciono dobro povezanih a prostorno rasprešenih snaga da se organizuju i usklade složene aktivnosti vezane

za izvođenje oružane borbe po principu odozdo prema gore. Organizacioni principi su: jedinstvo namera, jasno iskazana zamisao komandanta, i pažljiva primena pravila angažovanja.

**SVARMING (Swarming).** Svarming, ili u bukvalnom prevodu „rojenje“, je oblik asimetričnog ratovanja. Svarming podrazumeva dejstva decentralizovanih, disperzovanih snaga koje se samosinhronizuju i koncentrišu u trenutku napada na protivnika, a po završetku istog ponovo se razilaze i nastavljaju sa relativno autonomnim delovanjem. Odnosno, svarmingom nazivamo situaciju kada nekoliko jedinica iz više pravaca i istovremeno izvodi usmerene napade na jedan cilj. Elementarni preduslov za svarming jeste postojanje veze između svih jedinica. Spona sa klasičnim pristupom je pronalaženje ili stvaranje i iskorišćenje slabosti protivnika.

Svarming karakteriše sledećih pet osnovnih karakteristika:

(1) Superiorno praćenje situacije: jedinice moraju znati gde je neprijatelj i gde su druge prijateljske jedinice; osim lokacije snaga, bitni su i drugi elementi: namere, aktivnosti, itd.; poželjna je informaciona superiornost u odnosu na protivnika.

(2) Skrivenost-tajnost pozicije i snaga (životno važno jer su jedinice locirane u neprijateljskom okruženju).

(3) Žilavost snaga: bolje komparativne sposobnosti u odnosu na protivnika, mogućnost nanošenja veće štete protivniku nego što on može ostvariti (veći domet ili preciznost naoružanja; eksploatacija eksternih ograničenja protivnika (politički, medijski i drugi faktori).

(4) Sposobnost opkoljavanja (preduslov je mobilnost snaga).

(5) Istovremenost akcija (preduslov je dobra informaciona i komunikaciona povezanost, kao i jedinstvo interesa i ciljeva).

Slabosti svarminga: zahteva više vremena i prostora; zavisi od konfiguracije terena.

## 5.2 REVOLUCIJA U VOJNIM POSLOVIMA

Revolucija u vojnim poslovima (“Revolution in Military Affairs” -RMA), je termin koji je veoma prisutan u poslednjih par decenija. Interesantno je da mnogi analitičari ukazuju da je genezu ovog pojma započeo nekadašnji načelnik GŠ Crvene armije, general Nikolaj Ogarkov, još 1982.godine (Kolmer, 2007), koji je upotrebio termin “vojno-tehnološka revolucija”. Ogarkov je tada izašao sa predpostavkom da bi moderno konvencionalno naoružanje uskoro moglo da dostigne efektivnost taktičkog nuklearnog naoružanja.

Napredna senzorska tehnologija velikog dometa (radari i druga sredstva osmatranja), uz to i mobilna (montirana na avionima), u kombinaciji sa oružjima visoke preciznosti, obezbeđuju sposobnosti otkrivanja i uništenja oklopnih jedinica mnogo pre nego što te jedinice i stignu do prostora i linije upotrebe. Sovjetski vojni lideri su to spoznali i prepoznali kao adekvatnu strategiju potencijalnog protivnika (pre svega SAD), koja je u suštini predstavljala efikasan odgovor na njihovu dotadašnju doktrinu nastupanja u masovnim talasima oklopnih snaga.

Interesantno je da je u to vreme na zapadu bilo manje zagovornika suštinske ideje o razvoju takvih oružnih sistema koji će efikasno iskombinovati veliku preciznost, veliki domet i informacionu superiornost u smislu visokih sposobnosti za detekciju i selekciju relevantnih vojnih ciljeva.

Prvi značajni događaj koji je u većoj meri pokrenuo i promovisao ovu ideju u zapadnim vojno-stručnim krugovima, bio je prvi zalivski rat 1991.godine. Protivničke strane u ovom sukobu bile su i izrazito disproporcionalnom odnosu. Praktično je demonstrirana efektivnost oružja visoke preciznosti i rastuća važnost drugih tehnologija kao podrške sistemima visoke preciznosti (“stelt” tehnologija je dobar primer za to). Odlični rezultati na terenu (visok procenat uništenih ciljeva, mali sopstveni gubici) uticali su na širenje spoznaje da su velike promene u ratovanju već nastupile. Ipak, jasna spoznaja o kapacitetu i posledicama ovih velikih promena kao i razvoj pratećih koncepata i njihovo šire prihvatanje, ostali su relativno magloviti i nedovoljno vrednovani još čitavu deceniju posle tog rata.

Takođe je interesantno da je, u slučaju SAD, spoznaja o postojanju RVP kao procesa koji je praktično otpočeo, krenula “odozdo” - sa nižih komandnih nivoa ka višim, te da je “formalizacija spoznaje o RVP” i snažan zamah koji je usledio sa najviših nivoa krenuo tek 2001.godine sa početkom funkcionisanja tada nove državne administracije.

O revoluciji u vojnim poslovima može se govoriti iz više aspekata. Najčešće se ističu tehničko-tehnološki aspekt i izmenjeni karakter pretnji i sukoba, kao i bojnog polja. Međutim, promene u vojnim poslovima su šire i mogu se indiciirati i drugi aspekti: političko-socijalni, orhanizacioni, nove uloge, zadaci i misije oružanih snaga, itd.

O širini spektra promena u ovom kontekstu, pisali su i Argila i Ronfild (1996), koji navode i sledeće: povećanu “poroznost” državnih granica i mobilnost ljudi i roba; globalizaciju i opštu međuzavsinost država; itd.

## 5.3 TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI ASPEKT

Sa aspekta vojne tehnologije, revolucija u vojnim poslovima ima tri osnovne komponente:

- Informatička komponenta;
- Senzorska komponenta; i
- Oružja visoke preciznosti.

Osmišljena i kombinovana primena velikih dostignuća iz različitih oblasti tehnike i tehnologije na razvoj vojne opreme i naoružanja, proizveli su velike, praktično revolucionarne efekte u tzv. vojnim poslovima. Promene u vojnotehničkoj sferi indukovale su potrebu za promenama u sferama doktrine upotrebe i organizacije vojnih jedinica.

Razvoj senzorske tehnologije i primena u vojnoj oblasti omogućio je obezbeđenje ogromne količine kvalitetnih podataka o svim parametrima bojišta (karakteristike prostorne i vremenske komponente; podaci o neprijatelju: raspored, kretanje, jačina, sastav, itd; podaci o neutralnim elementima; identifikacija i podaci o sopstvenim snagama i prijateljima-saveznicima).

Razvoj informacionih tehnologija i primena u vojnoj oblasti omogućio je prenos i obradu prikupljenih podataka u kratkom ili čak realnom vremenu. Napredna informatička i senzorska tehnologija omogućile su, uz povećani obim informacija i dodatne nove kvalitete: prenos i obradu govornih, vizuelnih i video signala.

Razvoj klasičnih tehničko-tehnoloških disciplina i njihova vojna primena, omogućio je stvaranje oružja visoke preciznosti, velikog dometa, visoke automatizacije i samoregulacije, i naravno velike razornosti. Osmišljena primena i kombinovanje novih sredstava proizveli su sinergičke efekte i upravo je to jedan od primera nelinearnosti (sumarni-kombinovani efekat više činilaca veći je od proste sume pojedinačnih efekata tih istih činilaca).

Novu tehnološku eru u ratovanju karakteriše sledeće:

- **RASTUĆA DOMINACIJA KVALITETA U ODNOSU NA KVATITET.** Kvalitet i performanse modernog NVO su u dinamičnom procesu stalnog razvoja i poboljšanja. Ovaj napredak je toliko veliki da u nekim slučajevima jednostavno nije moguće nadomestiti komparativne nedostatke starog NVO prema novom NVO samo povećanjem broja starih NVO ili drugim merama (obučenos, moral, doktrina upotrebe, spremnost na veće gubitke, itd.). Strana u sukobu koja je propustila nekoliko tehnoloških generacija u svom opremanju i zadržala tradicionalnu organizaciju i doktrinu upotrebe, biće elegantno eleminisana sa bojnog polja od strane tehnološki naprednijeg protivnika i pored eventualne spremnosti na žrtvovanje ili improvizaciju. Tradicionalni proračuni odnosa snaga koji podrazumevaju puko prebrojavanje broja topovskih cevi i broja vojnika nisu primerni za moderne sukobe. Tradicionalna procesa odnosa snaga podrazumevala je isti ili približno isti kvalitet i performanse NVO. Za verodostojnu procenu odnosa snaga, moraju se uzeti u obzir ne samo broj, već i performanse NVO. Nova tehnika i njena inovativna organizaciona i doktrinarna implementacija, nose sa sobom složenost ovladavanja za njenu primenu. To praktično znači da je obuka složenija, zahtevnija, duža i skuplja. Dalje, to znači da se zahteva profesionalni vojnik za rukovanje složenom tehnikom. Posle više od dva veka masovnih, narodnih oružanih snaga, dolazi do preorijentacije na manje, visokoprofesionalne armije, pored ostalih razloga i zbog kvalitativno novog NVO. Sumarno, moderne vojske su manje od klasičnih, ali sa tehnoški daleko boljim NVO.
- **RAZNOVRSNOST RAZVOJA NVO.** Asortiman NVO je drastično povećan. Za istu namenu ili misiju postoji veliki broj opcija. Multifunkcionalnost je nekada moguća, a nekada ne. Pravilan izbor u opremanju NVO zato postaje složeniji i neizvesniji ali presudno važan. Pojavljuju se potpuno nove familije sredstva NVO. Dolazi da integracija pojedinačnih NVO u veće sisteme ("sisteme sistema").
- **KOMERCIJALNA VOJNA TEHNOLOGIJA.**

#### 5.4 PROMENE PRETNJI I BOJIŠTA

Na drugoj strani, promenio se i karakter samih oružanih pretnji, uključujući i samo bojište. Bojište se sve više formira u urbanim sredinama. Neprijatelj postaje sve manje vidljiv. Tradicionalne vremenske i formalne determinante (kao što su momenti objave početka i kraja rata, samo deklarisanje rata kao rata, subjekti rata u smislu zaraćenih strana) oružanih sukoba blede i nestaju u novim sukobima.

#### 5.5 POLITIČKI I SOCIJALNI ASPEKT

Promena principa popune ljudstvom: ukidanje regrutne obaveze građana i uvođenje principa dobrovoljnosti, smanjuje spektar veza i odnosa vojne zajednice i širih društvenih slojeva. Profesionalizacija neizbežno menja i sistem vrednosti pripadnika vojske (Basara, 2009). Sistem vrednosti je bitan za sve profesije, ali je posebno važan za vojnu profesiju, upravo zbog njenih specifičnosti. U kontekstu ovog istraživanja, sistem vrednosti je važan kao jedan od ključnih elemenata koji definiše i utiče na pošanje ljudskog faktora u oružanom sukobu. Modelovanje ponašanja ljudskog faktora i njegova implementacija u simulacionim modelima je veliki izazov i na neki način otvoreno pitanje za dalja istraživanja.

Demokratska kontrola oružanih snaga, standardizacije i ustavno i zakonsko preciziranje kanalisane njihove uloge u društvu, u kombinaciji sa ostalim promenama, u prvi plan stavlja lojalnost, umesto patriotizma.

Preorijentacija sa masovnih armija "građana u uniformi", na manje brojne oružane snage sa visokoobučanim, uskospecijalizovanim profesionalcima, takođe predstavlja veliku promenu.

#### 5.6 ORGANIZACIONI ASPEKT

Organizacijska struktura vojske menja se i prilagođava pod uticajem raznih faktora: izmenjeni karakter sukoba; nove misije, zadaci i oblici angažovanja; promene strategijskog okruženja, promene državne spoljne i bezbednosne politike; međunarodne integracije u oblasti bezbednosti i odbrane; ekonomski faktori finansiranja sistema odbrane; itd. Trenutno preovlađujući trend u velikom broju zemalja jeste orijentacija na reorganizaciju sa većih na manje jedinice uz povećanje njihove mobilnosti, autonomnosti i modularnosti.

#### 5.7 PROMENE U PERCEPCIJI ULOGE I ZADATAKA ORUŽANIH SNAGA

Na jednoj strani, oružane snage dobijaju nove misije i zadatke (misije obezbeđenja mira, multinacionalne operacije isl.), odnosno, u nekim slučajevima, dolazi do izmena prioriteta – stavljanje u isti nivo važnosti zadataka koji su u prethodnim periodima bili od manje važnosti.

Na drugoj strani, dolazi do ustupanja prostora u oblasti izvršenja pojedinih zadataka drugim akterima van oružanih snaga. Evidentan je uzlazni trend angažovanja organizacija i kompanija "sa tržišta" za realizaciju pojedinih zadataka koji su, tradicionalno bili zadatak odgovarajućih delova oružanih snaga. Konkretni primeri su angažovanje civilnih kompanija u realizaciji pojedinih logističkih funkcija (transport, održavanje, snabdevanje), ali i zadataka oružanog obezbeđenja objekata, lica i prostora na bojištu, ali i van njega.

#### 5.8 KOMPLEKSNOŠT I SINERGIJA PROMENA

Promene u svim nabrojanim aspektima dešavaju se jednovremeno, uz međusobne uticaje i preklapanja koji nije uvek lako identifikovati, što percepciju suštine pojma revolucije u vojnim poslovima dodatno usložava.

Revolucija u vojnim poslovima nije momenat, već je pre proces koji traje, sa dinamičkim promenama u raznim segmentima. Na primer, Prosečno vreme pronalaženja, identifikacije, izbora i neutralisanja mobilnih ciljeva u Pustinjskoj oluji 1991.godine, bilo je oko dva dana; petnaestak godina kasnije za iste poslove (uz primenu koncepta mrežno-centričnog ratovanja) bilo je potrebno svega dva minuta (Kolmer, 2007).

Proučavanje i analiza savremenih ratova i oružanih sukoba, ali i drugih vidova angažovanja oružanih snaga, postaju sve teži iz perspektive primene tradicionalnih teorija, metoda i modela, upravo zbog velikih promena u karakteru angažovanja vojnih snaga, zbog novih pretnji, zbog nove prirode bojišta i velikih noviteta u vojnoj opremi i naoružanju.

Tradicionalni istarživački modeli, po karakteru linearni, deterministički i velikoj meri prediktivni, zamenjuju se nelinearnim, stohastičkim, dinamičkim modelima koji bolje opisuju složenu realnost. Tradicionalne premise o proporcionalnosti i aditivnosti, zamenjuju se pretpostavkama o haotičnosti, multiplikativnosti i sinergičnosti. U tom cilju koristi se i dalje razvija teorija haosa, teorija kompleksnih sistema, simulacionog modelovanja, itd..

Interesantna su videnja pojedinih autora o problematici savremenih ratova i mogućnosti njihovog naučnog proučavanja. Antoan Buske (2008), u sklopu svoje izvrsne studije o naučnom pristupu savremenom ratu i budućnosti vojne organizacije, čak predlaže i novi termin "haopleksnost" kombinujući termine Haos i Kompleksnost, kao osnovne odrednice modernih oružanih sukoba. Buske predlaže i četiri režima naučnog pristupa fenomenu ratovanja, Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Konstelacija ključnih tehnologija, naučnih koncepata i oblika ratovanja (Buske, 2008)

|                     | Mehanizam   | Termodinamika                    | Kibernetika  | Haopleksnost   |
|---------------------|---|----------------------------------|--|--|
| Ključna tehnologija | Časovnik  | Mašina                           | Računar  | Mreža (komunikacije)   |
| Naučni koncepti     | Sila, kinematika, linearnost, geometrija          | Energija, entropija, verovatnoća | Informacije, organizovanost, negativna povratna veza, stabilnost | Informacije, nelinearnost, pozitivna povratna veza, samoorganizovanje, |
| Oblik ratovanja     | Kruta disciplina, rigidno taktičko raspoređivanje | Masovne OS, motorizacija         | Komandovanje i kontrola, automatizacija                          | Decentralizacija, svarming   |

U proučavanju haopleksnog ratovanja Buske ističe potrebu za primenom Teorije haosa i Teorije kompleksnih sistema. Zbog složenosti samih ovih teorija otvara se prostor i za treću oblast: simulaciono modelovanje.

Revolucija u vojnom poslovanju drugim rečima znači promene. Promene su uzrokovane inovacijama u drugim oblastima, na primer u tehničko-tehnološkoj ili u oblasti bezbednosnih izazova, rizika i pretnji. Takođe i promene u jednoj oblasti indukuju inovacije u drugim oblastima (inovativni pristup u razvoju nove organizacije, koncepata i opreme). Sve promene koje vojske preduzimaju u miru, vrše se sa opštim ciljem pripreme za buduće izazove i sukobe. U tom smislu promene i i novacije imaju i prediktivni karakter.

O prediktivnom aspektu promena u vojnim poslovanju, pisali i Isaacson, Layne i Arquilla (1999), u dokumentu urađenom za potrebe KoV-a SAD. Tehničko-tehnološke inovacije vode ka razvoju novog naoružanja i opreme (NVO). Uvođenje novog NVO u vojne jedinice, predstavlja modernizaciju. Ali, da bi prednosti koje ima novo NVO, bile efektivno iskorišćene, nužna je njihova odgovarajuća integracija kao strukturnog i funkcionalnog elementa. To praktično znači potrebu za novom (inovativnom) organizacijom, formacijom i obukom jedinica, kao i razvoj novih (inovativnih) koncepata upotrebe i logističke podrške, sa ciljem efikasnog odgovora na nove (inovativne) pretnje na bojištu i oko njega.

## 5.9 MREŽNO-CENTRIČNO RATOVANJE

Jedna od prednosti koncepta mrežnocentričnog ratovanja (MCR) jeste potencijal da se prevaziđe inferiornost snaga po pitanju brojnosti, tehnologije ili pozicije.

U osnovi MCR nalazi se intenzivna razmena informacija. Perry i Moffat (2004) analizirali su uticaj i efektivnost razmene informacija na proces donošenja odluka. Pored ostalih metoda koristili su i metodu simulacionog modelovanja.

Karakteristike mrežno-centričnih operacija (Moon, 2007) su: Domet (domen); Opremljenost; Agilnost; Sigurnost-pouzdanost. Snage osposobljene sa mrežno-centrično ratovanje imaju sledeće kapacitete i karakteristike: dominantni manevar; precizno angažovanje snaga; potpunu zaštitu snaga; i fokusiranu logistiku. Treba istaći da je važnost i aktuelnost mrežno-centričnog ratovanja prepoznata i u Vojsci Srbije (Čornakov, 2004). Elementi mreža dati su u Tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Elementi mreže i njihova namena (Moon, 2007):

|    | Tip elementa mreže                | Opis elementa  | Funkcija              |
|----|-----------------------------------|--|-----------------------|
| 1. | Prikupljač podataka               | Prikupljanje podataka i informacija za potrebe mrežnih operacija.  | Prikupljanje podataka |
| 2. | Prenosilac podataka i informacija | Transport podataka i informacija korišćenjem različitih načina i sredstava prenosa.                        | Prenos podataka       |
| 3. | Obradivač podataka i informacija  | Obrada podataka i informacija; interpretacija; razvrstavanje; povezivanje; objedinjavanje; formatizovanje. | Obrada informacija    |
| 4. | Donosilac odluka                  | Korišćenje raspoloživih podataka i informacija u sagledavanju mogućih scenarija i odlučivanju.             | Odlučivanje           |
| 5. | Izvršilac                         | Realizacija donetih odluka.  | Izvršenje             |
| 6. | "Administrator" mreže             | Obezbeđenje funkcionisanja mreže i njenih elemenata.   | obezbeđenje podrške   |

Moderna tehnologija za prikupljanje i prenos podataka i informacija omogućava obezbeđenje ogromnih količina podataka. Međutim, problem se javlja selekciji, analizi i tumačenju, kao i korišćenju u procesu odlučivanja, velikih količina podataka, kako ističe i Schrage (2003).

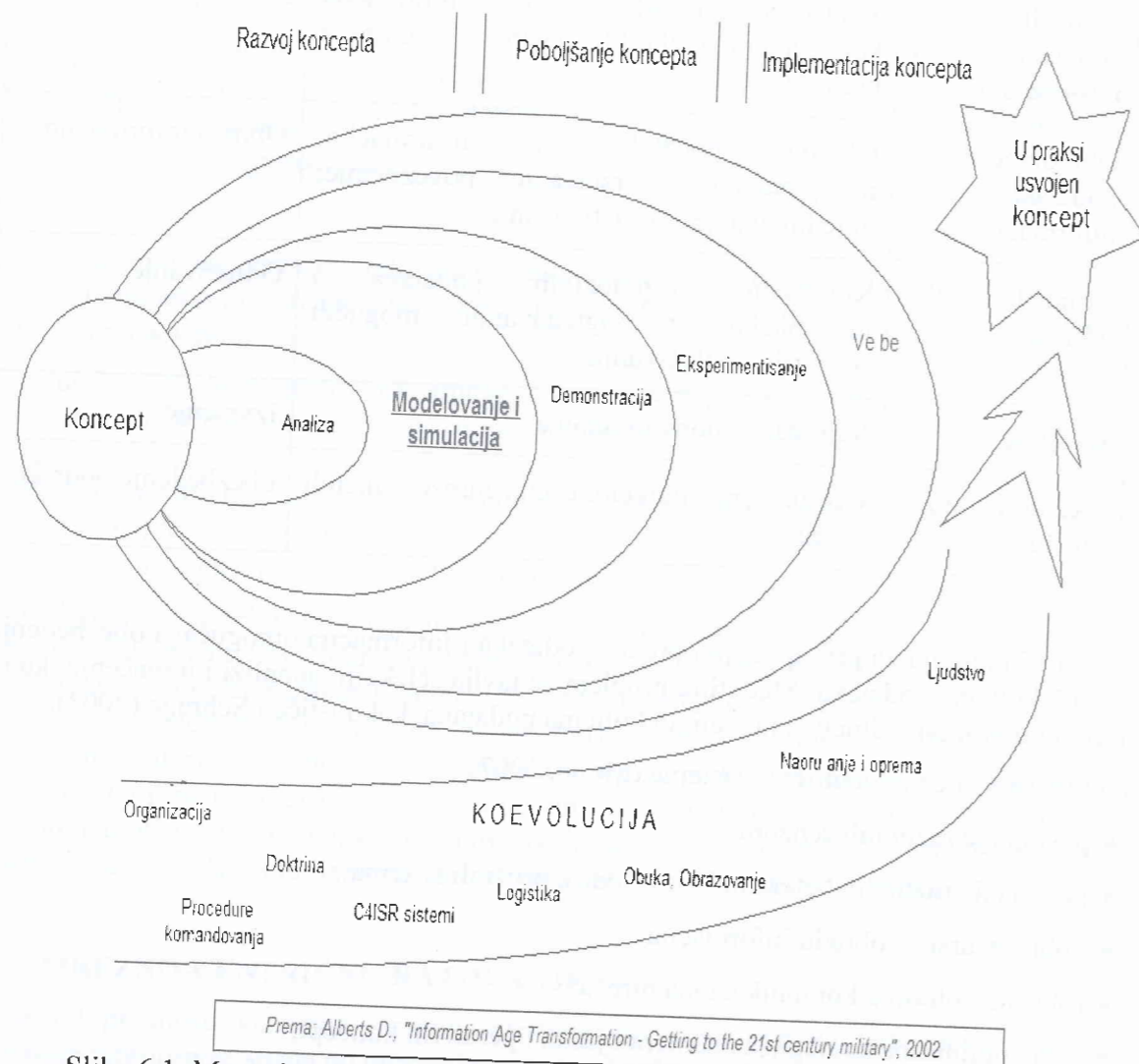
Karakteristike mrežno-centričnih sistema (Moon, 2007):

- postojanje različitih senzora;
- postojanje različitih "efektora" (izvršilaca, oružnih sistema);
- dobri resursi za obradu informacija;
- robusna i otporna komunikaciona mreža;
- jasno definisana strategijska namera i jasan operativni koncept;
- nova organizaciona struktura i procesi za upravljanje tokovima informacija.

## 6 NOVI SIMULACIONI KONCEPTI

Kada je u pitanju savremeni rat i savremena borbena dejstva, moguće je posmatranje sa više različitih aspekata: tehničko-tehnološki, organizacioni, politički, ekonomski, socio-psihološki, itd. Promene i aktuelni trendovi na ovim poljima imaju uticaja na način pripreme i izvođenje savremenih ratova. Zbog toga je nužno stalno istraživati fizionomiju savremenog rata, koga u današnje vreme karakteriše asimetričnost, nelinearnost, dinamičnost, visok intenzitet dejstava, relativna kratkotrajnost, itd. Primenu simulacija u proučavanju vojne problematike u kojoj su prisutne karakteristike dinamičnosti i visokog intenziteta naprežanja resursa imamo u nekoliko radova u našoj zemlji (Nikolić 2005, 2009).

Gde je mesto simulacionih metoda u istraživanju ovakvih problema? Odgovor je upravo u pomenutim karakteristikama modernih oružanih sukoba: simulacija je jedan od najpogodnijih metoda za proučavanje kompleksne, nelinearne, dinamičke realnosti. U sagledavanju mesta i uloge simulacije poslužićemo se pristupom i grafičkom ilustracijom (Slika 6.1) koju je dao Alberts (2002, str.76).



Slika 6.1. Mesto i uloga simulacionog modelovanja u razvoju novih koncepata

Polazeći od uticaja svekolokih promena u okruženju, ovaj autor identifikuje entitete vojne oblasti koji moraju biti podvrgnuti promenama; to su:

- Koncepti operacija;
- Pristup i procesi komandovanja i kontrole;
- Organizacija i doktrina;
- Entiteti bojišta (logistika);
- Sistemi naoružanja;
- Obrazovanje, obuka i vežbe.

Svi nabrojani elementi su potrebni i u funkciji su krajnjeg cilja –izvršenja zadate misije. Zbog toga ih Alberts objedinjava pod nazivom "paket sposobnosti za misiju".

Promene koje treba izvršiti su kompleksne, iterativne, međusobno uslovljene i višefazne. Upravo sa Slike 6.1. može se videti gde je mesto modelovanja i simulacije kao metoda koji je primenljiv i potreban u razvoju novih koncepata za različite elemente i entitete u vojnoj oblasti.

U suštini slično Albertsovom viđenju, imamo i u jednom zvaničnom dokumentu vojske SAD ("Združena vizija 2020", Sheldon, 2000, Združeni GŠ SAD), gde se navode sledeći koncepti:

- Dominantni manevar;
- Precizna vatrena dejstva;
- Fokusirana logistika;
- Potpuna borbena zaštita;
- Informacione operacije;
- Združena komanda i kontrola.

Skup ovih koncepata imenuje se jednim terminom: "mrežnocentrično ratovanje" (termin koji se pojavio krajem devedesetih godina dvadesetog veka). Ovo je i glavno obeležje fenomena "revolucije u vojnim poslovima".

Koncept mrežno-centričnih operacija implicira decentralizaciju procesa komandovanja i kontrole. Ovo je potpuno suprotno tradicionalnom konceptu krutih vojnih hijerarhija, odnosno konceptu centralizovanog komandovanja i kontrole. Zbog ove suštinske razlike između tradicionalnog (centralizacija) i novog koncepta (decentralizacija) nužna je sveobuhvatna provera novih koncepata. Provera podrazumeva primenu metoda modelovanja, simulacije, eksperimentisanja i vežbi.

Na ovom mestu moraju se još jednom istaći i druga kritična svojstva mrežno-centričnog koncepta, a to su jedinstvo cilja i visok nivo informacione povezanosti između disperzovanih jedinica. Sve njih povezuje jasan cilj i jasna misija: pojedinačnim entitetima ne treba posebna komanda sa višeg nivoa da bi reagovala prema protivniku, da bi pomogle susednim jedinicama itd. Takođe, one su opremljene i osposobljene za potpunu razmenu informacija u realnom vremenu, a u odnosu na protivnika su izrazito superiorne u informatičkom, komunikacionom i izviđačkom domenu. Dalje, ove male jedinice su takve veličine i opremljenosti da su autonomne, žilave i otporne na dejstva protivnika. Skup ovakvih manjih jedinica ponaša se na bojnopolju kao jedna samosinhronizujuća visokoorganizovana celina.

Jedan od konkretnih primera primene simulacija za istraživanje novih koncepata organizacije i upotrebe vojnih jedinica jeste koncept označen terminom *swarming*, Arquilla J., Ronfeldt D., 1999, (u slobodnom prevodu: rojenje). U vojnoj oblasti, *swarming* označava ideju reagovanja-napada na protivnika iz svih mogućih pravaca, pri čemu je postojanje mrežno-centričnog okruženja preduslov.

Strana koje primenjuje *swarming* je raspoređena disperziono na određenoj teritoriji, organizovana u malim, visokopokretnim, do određenog nivoa autonomnim i informaciono povezanim jedinicama, opremljenim odgovarajućim sredstvima, obučena i uvežbana za ovakav način dejstva. Pri pojavi protivnika, sve te male celine se usmeravaju (roje, okupljaju, usmeravaju) na protivnika iz svih pravaca, čime se postiže nadmoćnost i ostvaruju najbolji uslovi za efikasno neutralisanje protivnika.

Za autore *swarming* koncepta smatraju se istraživači iz američke RAND korporacije: John Arquilla i David Ronfeldt. Vredi istaći da je ovaj moderni koncept poznat i u našim naučnim krugovima: Janković R., 2007 i 2008, razmatra ideju *swarming*-a na primeru oklopnog bataljona.

Specifični zahtevi koji se pojavljuju pri verodostojnom modelovanju vojnih procesa i sistema nameću i specifične zahteve i potrebu daljeg razvoja metoda simulacionog modelovanja. Takav je slučaj na primer, sa potrebom da se vremenski faktor, kao faktor oružane borbe, verodostojno implementira u simulacioni model (Nikolić 2004). Rezultati takvih istraživanja i interakcije simulanda i razvoja novih simulacionih metoda, ponekad doprinose opštem razvoju simulacionog modelovanja i njegovoj široj primeni (Nikolić 2008a, 2008b).

Sledeći element koji usložava primenu simulacije, odnosno nameće nove zahteve, jeste modelski prikaz brojnih veza i tokova informacija i podataka između pojedinačnih jedinica. Ovo je važan aspekt mrežno-centričnog koncepta koji se mora proveriti jer mnogo informacija i podataka može dovesti do preopterećenosti resursa za obradu i selekciju važnih i prioritarnih informacija.

Treba imati na umu da je u modernom ratovanju spektar podataka i informacija kvalitativno i kvantitativno drastično povećan u odnosu na prethodne ratove. Reč je o prenosu govora, slika, satelitskih i aerofoto snimaka i potrebi za njihovom obradom u realnom vremenu. Tu je i potreba za spuštanjem informacija sa strategijskog nivoa do najnižih taktičkih nivoa, kao i obrnuto. Obim informacija u opštem slučaju, prouzrokuje duže vreme obrade a time i duži proces donošenja odluke.

Sa druge strane, kvalitetnije i potpunije informacije povećavaju verovatnoću neutralisanja protivnika i smanjenje utroška municije i naprezanja sopstvenih snaga, kao i prednosti u logističkoj podršci horizontalnom preraspodelom prioritarnih resursa.

Opšti zaključak koji proizilazi iz ovog istraživanja jeste da primena ovog koncepta pruža uslove za veću borbenu vrednost jedinica na bojnopolju. U uslovima izmenjene fizionomije savremenog rata sa jedne strane, a sa druge strane smanjenjem vojnih efektivita u sklopu reformskih procesa, idejni koncept *swarming*-a je vredan pažnje i daljeg istraživanja.

Iz aspekta simulacionog modelovanja, mrežno-centrični koncept povećava zahteve za prikazom, opisom, vizuelizacijom i praćenjem većeg broja elemenata modela i njihovih veza.

## 7 SIMULACIJA BORBENIH SISTEMA – NAORUŽANIH MOBILNIH PLATFORMI

Cilj ovog dela studije je da se prikažu rezultati istraživanja borbenih dejstava naoružanih mobilnih platformi, a posebno mogućnosti njihove primene u taktici rojenja (engl. *swarming*), značajnog pristupa koji se sve više razmatra u kocipiranju savremenih borbenih dejstava.

Najpre se daju osnovni pojmovi i definicije u vezi sa taktikom rojenja, konceptom naoružane mobilne platforme i metodologijom istraživanja koja se zasniva na primeni tehnike simulacije sistema sa diskretnim događajima, a zatim se razmatraju relizovani simulacioni modeli i važniji rezultati sa njima izvršenih eksperimenata.

Primeri obuhvataju najvažnije aspekte naoružanih mobilnih platformi i to:

- sopstveni pogon i naoružanje – kroz simulaciju iznenadnih pojedinačnih sukoba naoružanih mobilnih platformi;
- ljudski faktor – kroz simulaciju ponašanja komandno-informacionih sistema naoružanih mobilnih platformi, a posebno njegovog najvažnijeg podsistema – lokalne radio računarske mreže za prenos podataka;
- logističke podrške – kroz simulaciju utroška municije glavnih orudja tenkova u iznenadnom sukobu i
- samorganizovanja grupe naoružanih mobilnih platformi nivoa oklopnog bataljona koja primenjuje taktiku *swarminga* u odbrani teritorije protiv pretnje jače od svakog pojedinačnog tenka iz grupe.

### 7.1 OSNOVNO O KORIŠĆENOM SIMULACIONOM PAKETU

Simulacioni modeli prikazani u radu realizovani su u programskoj jeziku za simulaciju pod nazivom GPSS World kompanije „Minuteman Software“. Ova kompanija daje nekoliko verzija svog simulacionog jezika, koje se međusobno razlikuju po obimu mogućnosti koje pružaju programeru i naravno po ceni. Za ovu studiju korišćena je besplatna verzija GPSS World-a. Simulacioni jezik GPSS World je jedna od komercijalnih varijanti simulacionog jezika GPSS koji je dobro poznat, dugo prisutan i vrlo popularan u oblasti simulacionog modelovanja u svetu. Oznaka GPSS je skraćenica od reči: „General Purpose Simulation System“, što znači: „Simulacioni sistem opšte namene“.

GPSS World je paket koji pruža moćno okruženje za razvoj simulacionih modela i realizaciju simulacionih eksperimenata. Podržava simulaciju kako diskretnih tako i neprekidnih slučajnih događaja. Prilagođen je korisničkim potrebama za brz razvoj i implementaciju simulacionih modela. GPSS World sadrži biblioteku sa nizom (preko 20 vrsta) funkcija raspodele slučajne promenljive koje programer može da koristi na jednostavan način u programu.

GPSS World je raspoloživ i dostupan na Internetu, na sledećoj adresi: [www.minutemansoftware.com](http://www.minutemansoftware.com). Međutim, za skidanje programskog paketa sa Interneta, neophodna je kvalitetna veza velike brzine. Pored besplatne verzije GPSS World, postoje još dve vrste ovog paketa („Personalna verzija“ i „Komercijalna verzija“) sa cenom počev od oko 700 dolara. Jeftinija - „Personalna verzija“ GPSS World-a, ima mogućnosti za razvoj simulacionih modela obima do 2000 blokova (blokovi su naziv za izvršne naredbe

računarskog programa; programske linije). Naprednija, „Komercijalna verzija“ GPSS World-a, nema ograničenja po pitanju obima računarskog programa. Maksimalni obim računarskog programa u besplatnoj verziji GPSS World-a je 180 blokova računarskog programa. Vredi istaći odličnu podršku za učenje i primenu ovog simulacionog jezika, koja je dostupna korisnicima.

U GPSS World-u postoji više vrsta entiteta: apstraktnih pojmova sa određenim karakteristikama koji čine jedan programski jezik. Vrste ovih entiteta u GPSS World-u su sledeće:

- Transakcije (Transaction entities).
- Blokovi (Block entities).
- Uređaji (Facility entities).
- Funkcije (Function entities),
- Logički prekidači (Logicswitch entities).
- Matrice (Matrix entities).
- Redovi čekanja (Queue entities).
- Skladišta (Storage entities).
- Memorijske varijable (Savevalue entities).
- Tabele (Table entities),
- Korisnički lanci (Userchain entities).
- Promenljive (Variable entities).
- Numerički entiteti (Numeric group entities).
- Generatori slučajnih brojeva (Random Number Generators).

Ovde ćemo kratko izložiti dva osnovna entiteta: transakcije i blokove. Osnovni strukturni entiteti simulacionog modela u GPSS World okruženju zovu se Blokovi. Blokovi su međusobno povezani odgovarajućim relacijama. Blokovi i relacije među njima predstavljaju elemente i veze između elemenata definisanih konceptualnim modelom, koji opet, opisuje realni sistem, proces ili situaciju. Svaki blok predstavlja odgovarajući element realnog sistema ili fazu realnog procesa ili situacije koja je modelovana.

Osnovni dinamički entitet u GPSS World-u jesu Transakcije. Transakcije se kreću kroz model od bloka do bloka na način koji odražava kretanje odgovarajućih elemenata u realnom sistemu koji je modelovan. Transakcija može biti više vrsta u jednom modelu.

Sledeći pojednostavljeni primer iz vojne oblasti objašnjava smisao, namenu i vezu Transakcija i Blokova u simulacionom modelu. Transakcija „neprijateljski tenk“ biva registrovana od strane Bloka „naš top“, koji počinje sa opsluživanjem ove transakcije (tj. „gađanjem da bi je uništio“). Pri gađanju top troši municiju i u određenom trenutku se generiše nova vrsta transakcije „zahtev za popunom sa municijom“, koja će odgovarajućim tokom informacija uzrokovati pojavu treće vrste transakcija: „municija za popunu“. Potreba za realizacijom popune municijom podrazumeva transport motornim vozilom iz jedinica za snabdevanje (ili od skladišta) do mesta upotrebe. Vozila za transport dakle predstavljaju četvrtu vrstu transakcija. Pri tome, opisane aktivnosti mogu imati različito trajanje slučajnog karaktera, njihova realizacija može se smatrati izvesnom ali i neizvesnom što zavisi od

postavke konceptualnog modela, odnosno od stepena realnosti prikaza modelovane situacije. Iz aspekta obima prikaza naših snaga, Blok „naš top“ s početka ovog primera, može biti jedino sredstvo koje se modeluje, ali takođe može biti tek jedno od više desetina sredstva jedne cele vojne jedinice.

Dakle, obim i detaljnost prikaza elemenata, karakteristika i veza realnog sistema ili procesa zavisi od definisanog problema koji se proučava i modeluje i definisanih ciljeva koje treba postići razvojem modela. U tom smislu, moguće je u model uvesti i ostale elemente koji karakterišu jednu vojnu jedinicu: druge vrste naoružanja, sredstva veze, sredstva za izviđanje, logističke elemente, organizaciju i formaciju jedinica, lanac komandovanja, prostorni raspored i borbeni poredak.

Isto tako moguće je uvesti u model i uticaj ljudskog faktora na svim nivoima: od poslužioca oruđa, preko komandira vodova do komandanta brigade. Svaki od navedenih realnih elemenata bio bi prikazan odgovarajućim blokovima, transakcijama i drugim entitetima simulacionog jezika. Svakom od tih blokova, transakcija i drugih entiteta bili bi pridruženi odgovarajući atributi (numerički, logički, deskriptivni, stohastički) kojima bi se definisale karakteristike realnih elemenata.

GPSS World nije preterano zahtevan po pitanju mogućnosti hardverske platforme za slučaj primene najjednostavnije verzije (za proveru ostalih verzija paketa nije bilo mogućnosti). Preporučuje se Intel Pentium procesor, ili bolji, sa najmanje 32 MB (megabajta) radne memorije (RAM) i isto toliko prostora na čvrstom disku. Ipak, za veće i zahtevnije modele i eksperimente potrebno je više memorije.

Za potrebe daljih istraživanja i razvoj oblasti vojne primene simulacija preporučljivo je obezbediti nabavku naprednijih varijanti simulacionih paketa koje nisu besplatne. Takođe, ne treba se zadržati na samo jednoj vrsti simulacionog jezika, već primenjivati više njih. Jednako važno kao nabavka simulacionog softvera, jeste paralelni razvoj kadra koji će biti osposobljen za njegovu primenu.

## 7.2 SWARMING - TAKTIKA ROJENJA

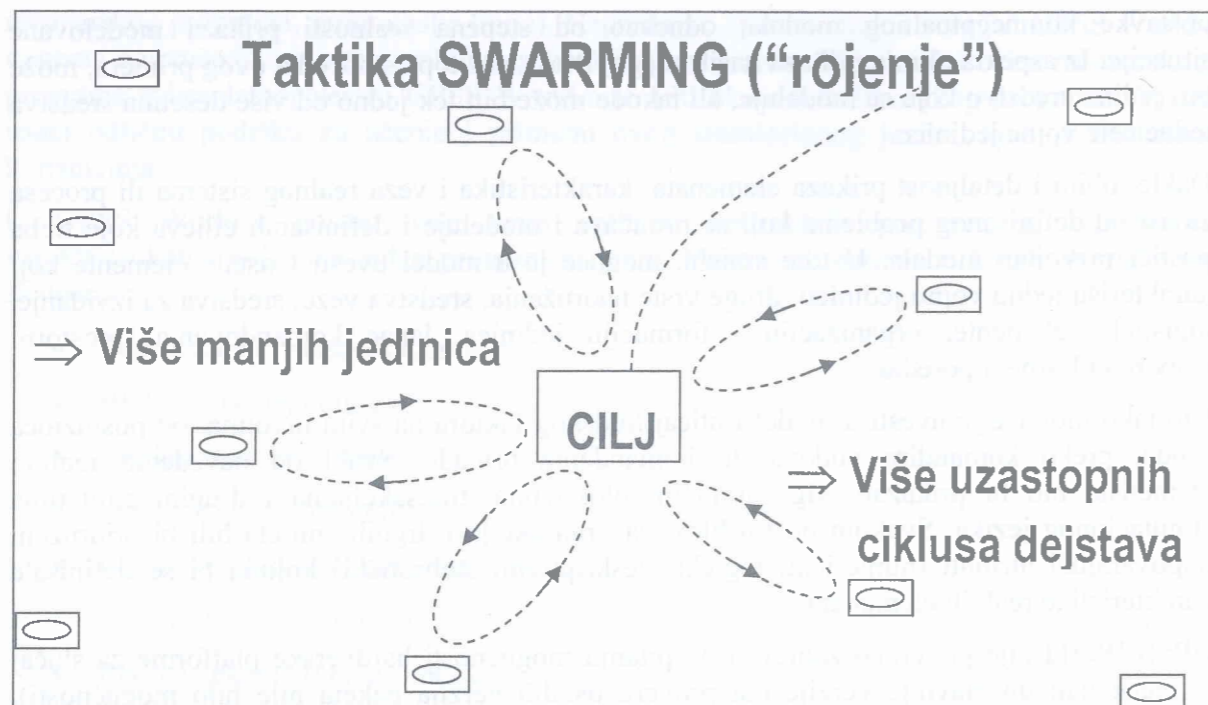
*Swarming* (u doslovnom prevodu: *rojenje*) je taktika (Arquilla J. i Ronfeldt D., 1999) u kojoj vojne snage napadaju protivnika iz više različitih pravaca, a zatim se regrupušu. Uzastopna dejstva mnogo malih, pokretnih jedinica odvijaju se stalno kružeći kroz sledeće 4 faze *swarminga*:

- Razredjeno raspoređivanje jedinica u prostoru
- Okupljanje (koncentracija) više jedinica na zajednički cilj
- Dejstvo (udarom ili vatrom) iz svih pravaca po cilju
- Razilaženje (dekoncentracija) jedinica

Način primene taktike *swarminga* prikazan je na slici 7.1, a njene osnovne karakteristike date su u tabeli 7.1.

Najvažniji aspekti *swarminga* su pokretljivost, komunikacija, autonomnost jedinica, sadejstvo i sinronizacija.

Sadejstvo i sinhronizacija su od posebnog značaja, da bi se izbeglo vatreno dejstvo i udar po sopstvenim snagama i postigla pobedonosna primena sile.



Slika 7.1. SWARMING oklopnih i mehanizovanih jedinica

Mada su u istoriji, pa i onoj najnovijoj, zabeleženi mnogi primeri uspešne primene *swarminga* (Edwards J.S., 2000) značaj ove taktike dolazi do svog punog izražaja tek u naše vreme, usled nedavnog naglog razvoja informatičke tehnologije, a posebno umrežavanja i sažimanja računarstva i telekomunikacija (Janković R., 2007b).

Tabela 7.1. Osnovne karakteristike *swarminga*

|    |   |
|----|---|
| 1. | Autonomne ili poluautonomne jedinice koje se angažuju u sasredjenom napadu na zajednički cilj.        |
| 2. | Amorfni, koordinisani napad iz svih pravaca neprestanim "impulsnim" nasrtajima udarom ili vatrom.     |
| 3. | Mnogo malih, rasutih, medjusobno umreženih jedinica.  |
| 4. | Integrirano osmatranje, senzori, C <sup>4</sup> I sistemi za uvid sa gornjeg nivoa u opštu situaciju. |
| 5. | Sposobnosti jedinica za dejstva, kako sa distance tako i iz neposrednog dodira.                       |
| 6. | Neprekidni napadi sa ciljem razbijanja kohezije protivnika.   |

Armije razvijenijih zemalja (Edwards J.S., 2000) još uvek se u najvećoj meri oslanjaju na ostvarivanje prednosti u vatrenoj moći i koncentraciji velikih snaga, uz prevlast u vazдушnom prostoru, vodeći tzv. *vazdušno-kopnenu bitku*. Medjutim, napad na jedinice takve, teško naoružane i tehnološki izuzetno opremljene armije, iz svih pravaca i sa bliskih rastojanja mogao bi da pokaže izuzetno dobre efekte.

Brojčano jakim jedinicama i njihovoj vatrenoj i udarnoj moći može se uspešno suprotstaviti psihološkim efektom koji se postiže kod protivnika napadnutog iznenada i sa svih strana, a

pokretljivost manjih jedinica i njihova sposobnost da se posle iznenadnog napada brzo razidju sprečava tehnološki nadmoćnog protivnika da pravovremeno reaguje.

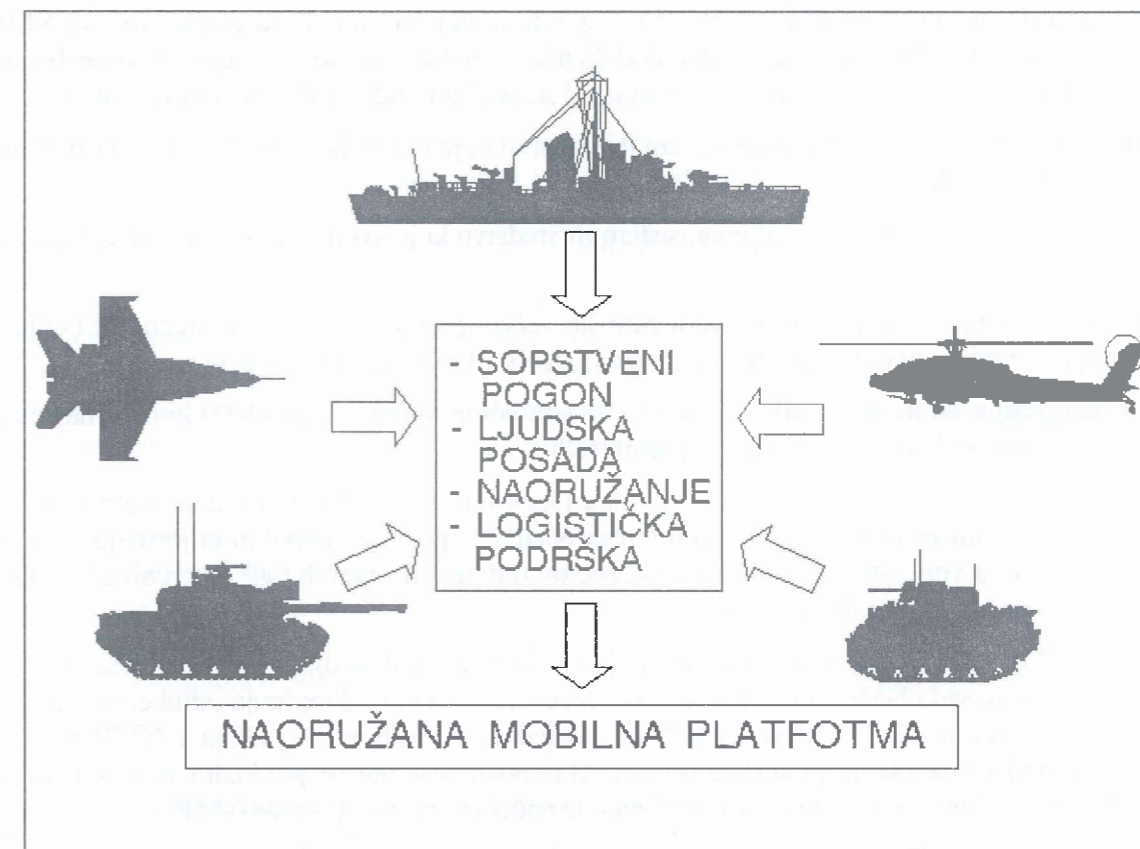
*Swarming* se tako predstavlja kao mnogo efikasniji način ratovanja od puke gerile, prvo zato što se tu koriste i platforme značajne vatrene moći (tenkovi, oklopni transporter i samohodna artiljerija), a još više zato što, za razliku od gerile koja obično koristi samo jedan prepad ili zasedu samo jedne jedinice, ovde se radi od sinergičnim uzastopnim napadima više manevarski veoma sposobnih jedinica iz više pravaca.

Taktika *swarming* primenjuje se sa (brojčano) mnogo manjim jedinicama, ali je njihova upotreba daleko efikasnija, pa često u ukupnom dejstvu mogu da poraze i višestruko nadmoćnijeg protivnika.

Za male zemlje i njihove vojske, kao što je to slučaj sa Srbijom, jedna od najboljih investicija mogla bi da bude adaptacija delova oružanih snaga, posebno oklopnih i mehanizovanih jedinica (OIMJ) za primenu *swarminga*.

### 7.3 KONCEPT NAORUŽANE MOBILNE PLATFORME – DEFINICIJE

Naoružana mobilna platforma (NMP) je novi koncept uveden u ovom istraživanju (Janković R., 1998b), kao apstrakcija pogodna za istraživanje i razvoj jedne klase složenih vojnih sistema. Mnogi takvi sistemi, na primer ratni brod, oklopno borbeno vozilo, avion ili naoružani helikopter, imaju neke zajedničke osobine, od kojih su najvažnije: sopstveni pogon, ljudska posada, naoružanje i potreba za značajnom logističkom podrškom.



Slika 7.2. Koncept naoružane mobilne platforme (NMP)



Okolinu NMP, kao vojnog sistema predstavljaju: neprijatelj, sopstvene snage i prostor (teritorija, akvatorija ili vazdušni prostor po kojima se kreću NMP i različiti ciljevi i pretnje).

Podsistemi NMP od interesa za istraživanje i/ili razvoj su najčešće: pogon, ugradjeni komandno-informacioni sistem (KIS NMP), orudja i logistička podrška.

Ugradjeni komandno-informacioni sistem (KIS-NMP) je sastavni deo, odnosno jedan od najvažnijih podistema NMP. Namenjen je za informacionu podršku komandovanju NMP u upravljanju njenim kretanjem, vatrenom dejstvu po ciljevima/pretnjama i u logistici. Obuhvata ljude (posadu NMP) i sledeće pod sisteme: senzorski pod sistem, računarski pod sistem, pod sistem za veze i prenos podataka i sprege KIS NMP sa raspoloživim orudjima i drugim izvršnim organima NMP.

Misija NMP je put koji ona treba da prevali, od baze do cilja i natrag do baze, u okviru koga se planira izvršenje drugih zadataka (uništenje planiranih ciljeva i slično).

Planirana misija NMP (Janković R., 1998a, 2000) je ona u kojoj nema nikakvih drugih događaja osim predviđenog puta koji NMP prevaljuje od baze do cilja i natrag do baze i planski unapred određenih zadataka koje NMP izvršava na tom putu. To je idealizovan slučaj misije, u kojoj nema nepredviđenih događaja i u kome NMP izvršava samo planirane zadatke. Njen značaj se ogleda u tome što predstavlja osnov na kome su razvijeni najvažniji delovi i mehanizmi u okviru simulacionog modela. Na ovu osnovu se, u daljim fazama razvoja simulacionog modela, nadgrađuju delovi kojima se simuliraju događaji koji se ne mogu planirati, a koji su u većoj ili manjoj meri uvek prisutni u realnim misijama NMP. U okviru planirane misije, NMP treba da uništi jedan ili više ciljeva/pretnji (C/P), što se svodi na dejstvo nekim od orudja kojima NMP raspolaže i trošenje odgovarajućih resursa dodeljenih za misiju, kao što su projektili iz borbenog kompleta (BK) uz orudje, ili vreme koje se troši od strane komandno-informacionog sistema.

Cilj (C) je ona neprijateljska jedinica, sistem ili sredstvo koje može da se uništi ili oštetiti orudjima kojima raspolaže NMP.

Pretnja (P) je ona neprijateljska jedinica, sistem ili sredstvo koje svojim dejstvom može da oštetiti ili uništi NMP.

Cilj/pretnja (C/P) je koncept koji se uvodi zato što većina pretnji mogu istovremeno biti i ciljevi i obratno, ali je relativni odnos intenziteta ova dva svojstva različit od slučaja do slučaja.

Uticaj neprijatelja na misiju NMP predstavlja se vanrednim događajima (VD) koji su najčešće pojave različitih neplaniranih ciljeva i/ili pretnji (C/P).

Konflikt je posebna klasa vanrednih događaja (Janković R., 1997) u simulacionom modelu misije NMP u kojima dolazi do sukoba interesa NMP (da postigne osnovni cilj misije – uništi sve planirane ciljeve i, istovremeno, sačuva sebe od uništenja) i raznih C/P protivnika koji teži da je u tome spreči, uništi ili onesposobi.

Reakcija NMP ( $R_{NMP}$ ) je njen odziv na pojavu vanrednog događaja. To je jedna ili više aktivnosti koje posada NMP, posle procene novonastale situacije i donošenja odluke, preduzima sa osnovnim ciljem da se otklone negativne posledice vanrednog događaja i NMP što pre ponovo usmeri na izvršenje planirane misije. Aktivnosti reakcije se preduzimaju u skladu sa ekspertskim pravilima odlučivanja koja proističu iz načela borbene upotrebe NMP.

Simulacija misije NMP je računarska predstava dinamičkog scenarija u kome se, od polaska na cilj do povratka u bazu, smenjuju manevri i prelasci deonica, pojave vanrednih događaja i odgovarajuće reakcije (dejstva) NMP, uz postepeno trošenje resursa stavljeni na raspolaganje za

misiju. Stepem uspešnosti misije NMP ocenjuje se merama performansi, kao što su vreme njenog trajanja, broj utrošenih projektila po uništenom cilju, efikasnost prevlađivanja puta, procent misija koje su povoljno završene i slično.

Grupa naoružanih mobilnih platformi (GNMP) je skup od najmanje 2 NMP koje saradjuju u zajedničkoj misiji. Ovaj koncept se koristi u simulaciji dejstava jedinica koje se sastoje od više NMP, gde je rezolucija simulatora do svake pojedinačne NMP. Iz praktičnih razloga, GNMP u ovim istraživanjima ima sastav od nekoliko NMP do više desetina NMP, a reprezentativna GNMP je jedinica ranga bataljona, kao na pr. oklopni bataljon (OKB).

#### 7.4 METODOLOGIJA ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NMP

Na slici 7.3, kao rezultat sopstvenih iskustava, prikazana je metodologija za istraživanje i razvoj NMP (Janković R., 2001a) kao jednog od najvažnijih sistema naoružanja i vojne opreme.

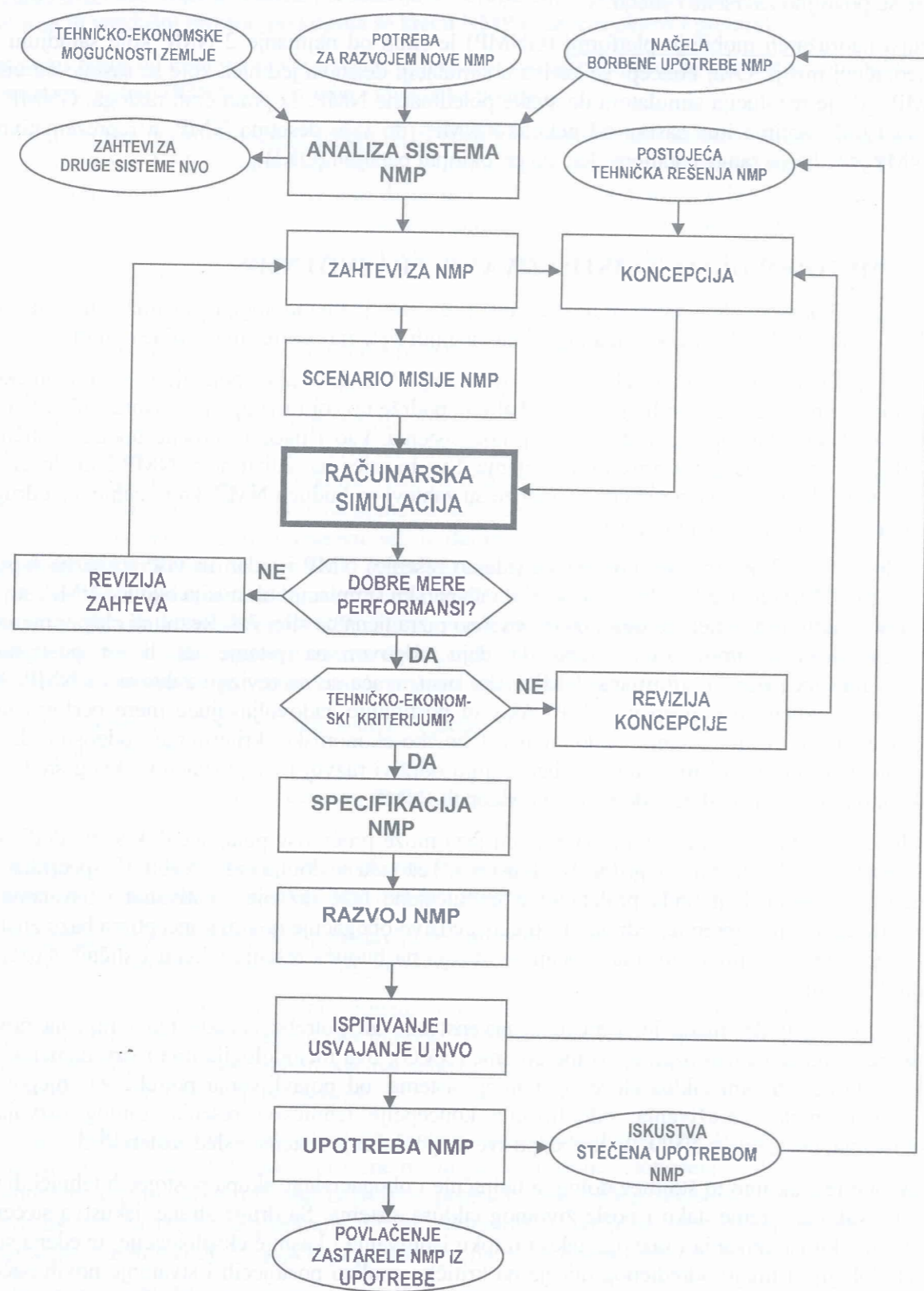
Proces počinje uočenom potrebom za novom NMP, a kao ulaz pojavljuju se i tehničko-ekonomske mogućnosti zemlje koje bi trebalo da podrže razvoj i uvođenje u naoružanje i vojnu opremu (NVO) takvog novo složenog vojnog sistema, kao i načela borbene upotrebe sličnih NMP koje se već nalaze u oružanim snagama. Sve to utiče na nalizu nove NMP kao složenog vojno-tehničkog sistema, a rezultat te analize su zahtevi za buduću NMP, kao i zahtevi za druge sisteme NVO koji su sa njom u vezi.

Iz zahteva za NMP proističu koncepcija (idejno rešenje) NMP i jedan ili više scenarija misije koju će ta NMP da obavlja. Zatim se ulazi u računarsku simulaciju tih misija buduće NMP, što je centralna aktivnost u metodologiji, pa je posebno razradjena na slici 7.4. Rezultati eksperimenata sa realizovanim simulatorima treba da daju odgovor na pitanje da li su postignute zadovoljavajuće mere performansi NMP. Ako nisu, vraća se na reviziju zahteva za NMP, što utiče i na izmene u koncepciji NMP. Ako su postignute zadovoljavajuće mere performansi, ispituje se da li to rešenje zadovoljava tehničko-ekonomske kriterijume, odnosno da li raspoloživa industrija i moć države obezbeđuju održivi razvoj i eksploataciju takvog sredstva. Ukoliko to nije slučaj, dolazi do revizije koncepcije NMP.

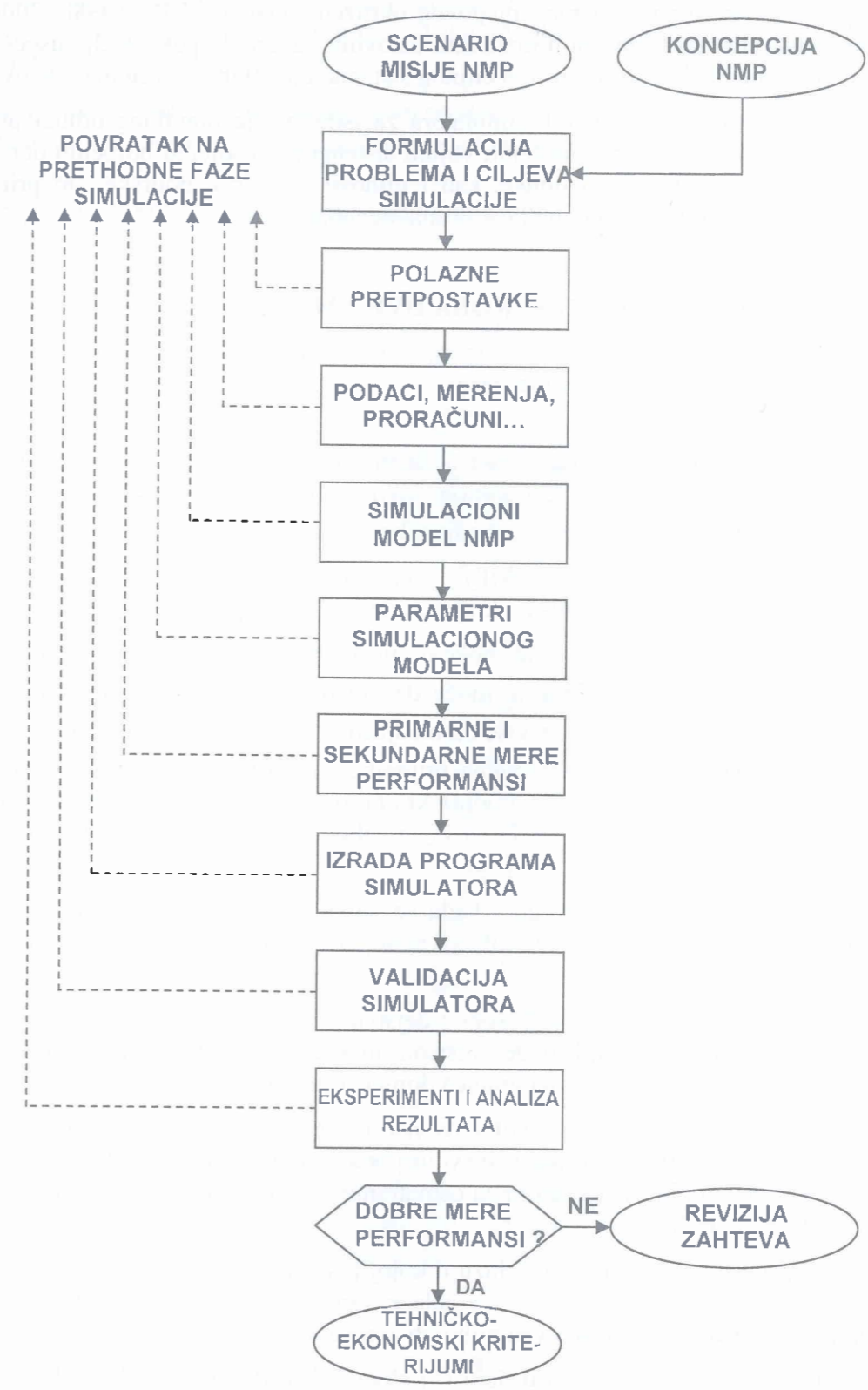
Vidi se da se kroz ovih nekoliko nabrojanih faza može proći više puta, sve dok se ne dodje do rešenja koje zadovoljava obe grupe bitnih uslova. Tek tada se dobija pravi rezultat – specifikacija budućeg sistema, koji onda prolazi kroz uobičajene faze razvoja, ispitivanja i usvajanja u naoružanje i vojnu opremu. Jednom usvojeno sredstvo obogaćuje novim konceptima bazu znanja o postojećim rešenjima, što ima značajnog uticaja na buduća rešenja takvih i sličnih složenih vojnih sistema.

Može se uočiti da, mada je osmišljena prvenstveno za potrebe istraživanja i razvoja novih sistema i sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO), ova metodologija ima i širu namenu, jer obuhvata ceo životni ciklus složenog vojnog sistema, od pojavljivanja potrebe za njegovim razvojem, preko istraživanja, određivanja koncepcije tehničkog rešenja, samog razvoja i ispitivanja, usvajanja u NVO, upotrebe, pa sve do povlačenja sistema usled zastarelosti.

Posebno je značajno to što metodologija uključuje i obogaćivanje skupa postojećih tehničkih rešenja, kako za vreme, tako i posle životnog ciklusa sistema. Sa druge strane, iskustva stečena, kako u toku istraživanja i razvoja, tako i u toku ispitivanja i kasnije eksploatacije, uvedena su u metodologiju i imaju određenog uticaja na kritičku analizu postojećih i stvaranje novih načela borbene upotrebe složenog vojnog sistema. Zbog tako široko postavljenih ciljeva i složenosti samog predmeta istraživanja, metodologija se oslanja na tehnike operacionih istraživanja, posebno na računarsku simulaciju koja u njoj ima centralno mesto i ulogu (slika 7.4.).



Slika 7.3. Metodologija za istraživanje i razvoj naoružanih mobilnih platformi



Slika 7.4. Računarska simulacija kao centralni deo metodologije

Cilj simulacije složenog vojnog sistema i njegovog okruženja (Janković R., 1998b, 2000) je da se, kroz procenu mera performansi u različitim uslovima, dodje do pokazatelja uspešnosti tehničkih rešenja primenjenih tokom razvoja ciljnog sistema, njegovih podsistema i delova.

Pored toga, cilj su i primene razvijenih simulatora za istraživanje pravilnog odlučivanja u pogledu mogućnosti upotrebe takvih složenih vojnih sistema u izvodjenju borbenih dejstava, što spada u domen komandovanja i obuke, kao i njihove logističke podrške, što primenu nalazi u oblasti tehničkog održavanja i tehničkog snabdevanja.

### 7.5 SIMULACIJA IZNENADNOG SUKOPA DVE NMP

Polazne pretpostavke za izradu simulacionog modela iznenadnog sukoba dve naoružane mobilne platforme (NMP-1 i NMP-2) su sledeće:

- NMP-1 i NMP-2 se nalaze na sopstvenim zadacima i kreću se pod azimutima  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ , brzinama  $V_1$  i  $V_2$  respektivno. Do samog sukoba, one ne znaju jedna za drugu i prvenstveno pokušavaju da ostvare svoje medjusobno nezavisne zadatke.
- NMP-1 raspolaže sensorom S-1, a NMP-2 sensorom S-2 koji služe za osmatranje i upravljanje vatrom. Sensori su definisani krajnjim dometima  $D_{S-1}$  i  $D_{S-2}$ .
- NMP-1 raspolaže orudjem (OR-1) koje može da uništi NMP-2 sa verovatnoćom  $p_{OR-1}$ , a NMP-2 raspolaže orudjem (OR-2) koje može da uništi NMP-1 sa verovatnoćom  $p_{OR-2}$ . Verovatnoće uništenja  $p_{OR-1}$  i  $p_{OR-2}$  zavise od medjusobnog rastojanja NMP-1 i NMP-2  $D$ . Orudja su definisana prosečnim vremenima pripreme za dejstvo  $T_{OR-1}$  i  $T_{OR-2}$  (uzimanje elemenata za gadjanje i sama priprema orudja), krajnjim dometima vatrene dejstva  $D_{OR-1}$  i  $D_{OR-2}$ , brzinama leta projektila do cilja  $V_{L-1}$  i  $V_{L-2}$  i veličinama borbenih kompleta municije uz orudja  $BK_1$  i  $BK_2$ .
- Do sukoba NMP-1 i NMP-2 može doći kada se bar jedna od njih detektuje sensorom protivnika i ako se, daljim kretanjima, njihovo rastojanje  $D$  smanji do granice dometa bar jednog od orudja, OR-1 i/ili OR-2.
- Tokom sukoba NMP-1 i NMP-2 medjusobno dejstvuju jedna na drugu svojim orudjima. Sukob prestaje kada jedna od njih bude uništena, ili kada se, daljim kretanjima, njihovo medjusobno rastojanje  $D$  poveća izvan granica dometa njihovih orudja i senzora.

Na slici 7.5 prikazane su pojedine faze sukoba dve naoružane mobilne platforme (Janković R., 2001b, 2001c). NMP-1 i NMP-2 su prikazane svojim položajima u prostoru u kome se kreću, zonama detekcije pomoću njihovih senzora za osmatranje i upravljanje vatrom i zonama mogućeg vatrene dejstva orudja.

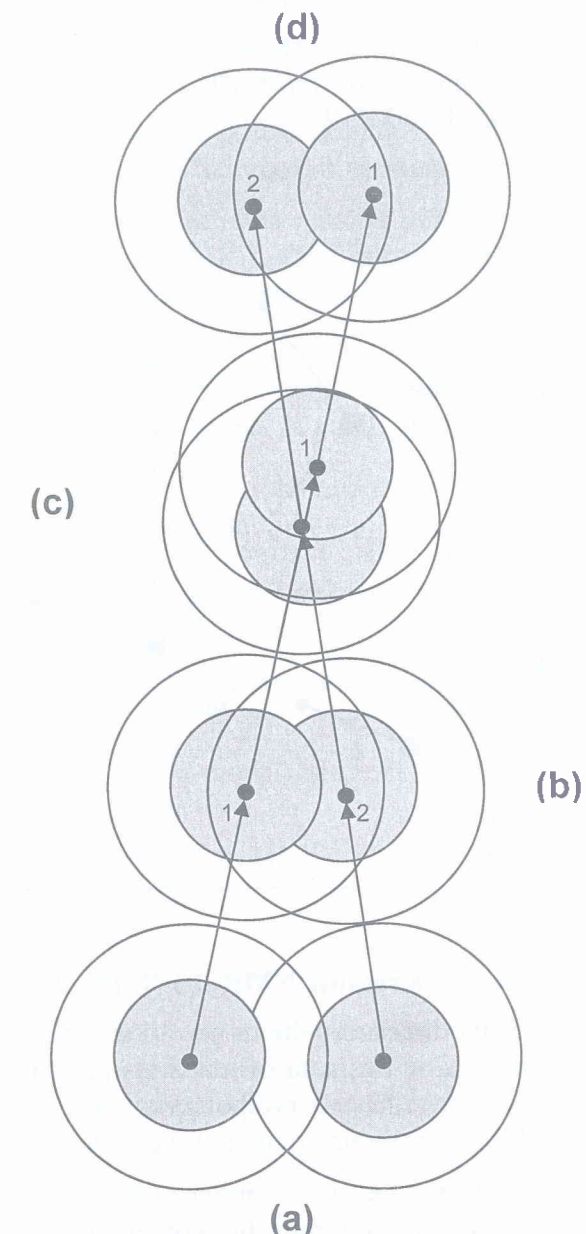
Deo slike 7.5 (a) prikazuje predkonfliktnu fazu u kojoj još nema sukoba, a NMP-1 i NMP-2 ne znaju za postojanje protivnika, jer se obe nalaze van dometa senzora S-1 i S-2 za osmatranje i upravljanje vatrom, odnosno van njihovih zona detekcije.

Sukob nastaje u fazi koja je prikazana u delu (b) slike 7.5, kada je bar jedna od NMP-1 i NMP-2 ušla u zonu detekcije senzora protivnika. Tada NMP čiji je sensor detektovao protivnika, uzima elemente za upravljanje vatrom i priprema orudje za dejstvo.

Vatreno dejstvo orudja počinje u fazi (c) na slici 7.5. Uslov je da bar jedna od NMP udje u zonu vatrene dejstva orudja protivnika, a da je ovaj, sa svoje strane, uzео elemente za up-

ravljanje vatrom i ima raspoloživo i pripremljeno orudje. U ovoj fazi, koja predstavlja samu suštinu sukoba, dolazi do medjusobne razmene vatrene dejstva orudja NMP-1 i NMP-2, koje tako pokušavaju da unište jedna drugu. Svaka od njih to nastavlja da radi sve dok ne nastupi jedan od sledećih događaja:

- protivnička NMP je uništena dejstvom orudja;
- dalje vatreno dejstvo je onemogućeno, usled otkaza orudja, nestanka municije ili neke nove odluke;
- usled daljeg kretanja, medjusobno rastojanje NMP-1 i NMP-2 je postalo veće od dometa njihovih orudja.



Slika 7.5. Faze sukoba NMP

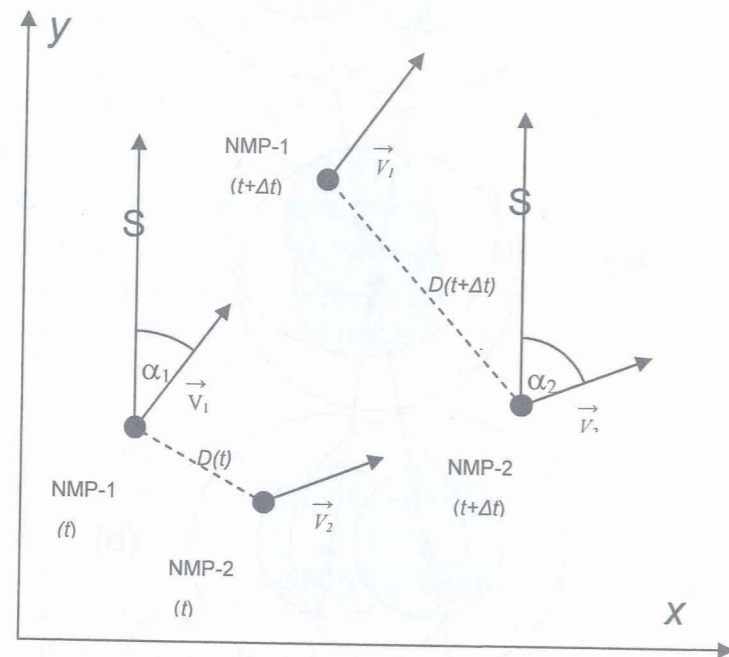
Ukoliko je jedna od NMP uništena vatrene dejstvom orudja druge NMP, tada se sukob završava po nju fatalnim ishodom. Takav ishod moguć je i za obe NMP. Ukoliko dodje do

otkaza orudja ili potpunog utroška municije, NMP i dalje učestvuje u sukobu, ali bez mogućnosti aktivnog dejstva i sa znatno smanjenim izgledima za preživljavanje.

Ukoliko, daljim kretanjima, naoružane mobilne platforme NMP-1 i NMP-2 izađu iz zona vatrenog dejstva orudja, sukob prelazi u sledeću fazu prikazanu na delu slici 7.5 (d). To je poslednja, postkonfliktna faza sukoba, kada je obustavljeno vatreno dejstvo, ali se platforme još uvek nalaze u zoni detekcije senzora. One se međusobno osmatraju sve do izlaska iz zona somatiranja, čime se, u ovom slučaju, sukob završava ishodom opstanka obe naoružane mobilne platforme.

### Simulacioni model sukoba dve naoružane mobilne platforme

Naoružane mobilne platforme u sukobu su diskretan dinamički sistem (Janković R., 2001b). U modelu se kreću naoružane mobilne platforme NMP-1 i NMP-2. Na slici 7.6 data je grafička predstava modela kretanja NMP-1 i NMP-2.



Slika 7.6. Kretanje NMP- 1 i NMP- 2

NMP-1 i NMP-2 se kreću u dvodimenzionalnom prostoru, koji je predstavljen pravouglim koordinatnim sistemom (x,y), gde je ordinata orijentisana prema severu. Obzirom na vrstu NMP koje se razmatraju u ovom radu ova pretpostavka važi u većini slučajeva (za ratne brodove u potpunosti, a za oklopna borbena vozila gotovo uvek).

Medjutim, treba imati u vidu da ukoliko se u model uvedu i naoružane mobilne platforme koje se kreću u 3 dimenzije, kao što su avioni, helikopteri, ili bespilotne letelice, ili ako se simuliraju borbena dejstva po terenu na kome su prisutne velike visinske razlike, to može da se uvede u već realizovane simulatore bez većih poteškoća.

Za vreme sukoba, azimuti ( $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ ) pod kojima se kreću NMP-1 i NMP-2, kao i njihove brzine ( $V_1$  i  $V_2$ ), ne menjaju se. Ovo se usvaja zbog toga što sukob razmatranih NMP nije planiran,

nego slučajan događaj, dok je namera svake NMP da nastavi sa svojim dotadašnjim zadatkom. Sa druge strane, dužina trajanja samog sukoba i karakteristike NMP i njihovih orudja gotovo da isključuju mogućnost većih brzih manevara za vreme sukoba.

Trenutni položaji naoružanih mobilnih platformi predstavljani su tačkama NMP-1( $x_1, y_1$ ) i NMP-2( $x_2, y_2$ ), a putanje po kojima se one kreću, u jednostavnijim slučajevima, jednačinama pravih:

$$y_1 = -ctg\alpha_1 \cdot x_1 + c_1 \quad (1)$$

$$y_2 = -ctg\alpha_2 \cdot x_2 + c_2 \quad (2)$$

gde su  $c_1$  i  $c_2$  konstante.

U složenijim slučajevima, u model se uvode odgovarajuće zakonitosti kretanja pojedinačnih NMP.

Simulacioni model sukoba NMP-1 i NMP-2 je diskretan i dinamički, orijentisan na događaje. Aktivnosti sistema se u modelu predstavljaju čistim vremenskim kašnjenjima.

Na slici 7.5 može se uočiti da pojedine faze sukoba počinju i završavaju se u zavisnosti međusobnog rastojanja  $D$  NMP-1 i NMP-2. Ovo rastojanje zavisi od trenutnih koordinata NMP-1 i NMP-2 i dinamički se menja u vremenu.

Sa druge strane, trajanje neke aktivnosti u sistemu, u intervalu  $\Delta t$ , imaće za posledicu po svom okončanju, pored ostalog, i promenjeno rastojanje platformi  $D(t+\Delta t)$ .

Iz tih razloga, u simulacionom modelu postoje dva tipa osnovnih transformacija:

- $\lambda(t)$ : transformacija zadatog vremenskog intervala u prostornu veličinu  $i$
- $\tau(d)$ : transformacija zadate prostorne veličine u vreme.

Te transformacije su i prve među nekoliko osnovnih mehanizama koji su realizovani za potrebe ovakvih simulacija, a biće opisane dalje u tekstu.

Algoritamski opis modula za simulaciju aktivnosti jedne od dve naoružane mobilne platforme u sukobu, NMP-1, dat je na slici 7.7.

Potpun algoritamski opis simulacionog modela sistema dve naoružane mobilne platforme u sukobu obuhvata sledeća četiri modula:

- modul za generisanje sukoba NMP-1 i NMP-2;
- modul za simulaciju aktivnosti NMP-1;
- modul za simulaciju aktivnosti NMP-2;
- modul za okončanje sukoba NMP-1 i NMP-2.

U modulu za generisanje sukoba, unose se parametri sistema, parametri za kontrolu eksperimenta, generišu se transakcije koja predstavljaju pojedinačne sukobe i od njih stvaraju transakcije koje u modelu predstavljaju platforme NMP-1 i NMP-2.

Moduli za simulaciju aktivnosti NMP-1 i NMP-2 su identični po strukturi, komplementarni po funkciji, međusobno razmenjuju potrebne informacije i predstavljaju suštinu modela u celini, jer se ono što se dešava u sukobu u stvari simulira pomoću njih. Ovde se zato biti detaljnije prikazuje modul za simulaciju aktivnosti NMP-1.

Najzad, modul za okončanje sukoba ima funkciju da, u zavisnosti od ishoda generisanih u modulima za simulaciju aktivnosti NMP-1 i NMP-2, prikuplja potrebne statističke podatke, uklanja transakcije iz sistema i upravlja nastavkom eksperimenta, sve do njegovog kraja.



NMP-1 može da bude uništena (ISHOD-4 na slici 7.7), što zavisi od trenutnog položaja, daljeg kretanja i aktivnosti NMP-2. Sa druge strane, ukoliko daljim kretanjem rastojanje  $D_n$  platformi prevaziđe domete svih senzora za osmatranje i upravljanje vatrom, sukob se okončava preživljavanjem obe platforme (ISHOD-2 na slici 7.7).

Posle generisanja bilo kog od četiri moguća ishoda sukoba, transakcija koja predstavlja NMP-1 napušta modul za simulaciju platforme NMP-1 i upućuje se u modul za okončanje sukoba, iz koga će, posle uzimanja potrebnih statističkih podataka i završne obrade, biti uklonjena iz simulacije.

Parametri simuliranog sistema dve naoružane mobilne platforme u sukobu su:

- Parametri kretanja naoružanih mobilnih platformi
- Parametri senzora naoružanih mobilnih platformi
- Parametri orudja naoružanih mobilnih platformi

Parametri kretanja naoružanih mobilnih platformi NMP-1 i NMP-2 su:

- Početni položaji platformi: NMP-1 ( $x_{01}, y_{01}$ ) i NMP-2 ( $x_{02}, y_{02}$ );
- Azimuti pod kojima se platforme kreću:  $\alpha-1$  i  $\alpha-2$ ;
- Brzine kretanja platformi:  $V_1$  i  $V_2$ ;

Parametri senzora naoružanih mobilnih platformi su krajnji dometi  $D_{S-1}$  i  $D_{S-2}$ ;

Parametri orudja naoružanih mobilnih platformi su:

- Verovatnoće uništenja  $P_{OR-1}$  i  $P_{OR-2}$  u funkcijama od međusobnog rastojanja platformi
- Prosečna vremena pripreme  $T_{OR-1}$  i  $T_{OR-2}$
- Krajnji dometi  $D_{OR-1}$  i  $D_{OR-2}$
- Brzine leta projektila do cilja  $V_{OR-1}$  i  $V_{OR-2}$
- Veličine borbenih kompleta (broj projektila) uz orudja  $BK_1$  i  $BK_2$

Mere performansi simuliranog sistema dve naoružane mobilne platforme u sukobu definišu se na uzorku od  $N$  takvih simuliranih sukoba i obuhvataju sledeće:

- Procent ishoda uništenja NMP-1
- Procent ishoda uništenja NMP-2
- Procent ishoda uništenja i NMP-1 i NMP-2
- Procent preživljavanja i NMP-1 i NMP-2
- Ukupno vreme trajanja sukoba  $T_s$

Prve četiri mere performansi predstavljaju procene verovatnoća odgovarajućih ishoda sukoba dve naoružane mobilne platforme.

Ukupno vreme trajanja sukoba,  $T_s$ , definiše se kao interval simuliranog vremena koji protekne od trenutka detekcije bar jedne NMP pomoću senzora protivničke NMP, do trenutka prestanka sukoba, odnosno fatalnog ishoda bar za jednu od suprotstavljenih NMP ili odlaženja obe neuništene NMP van zona detekcije njihovih senzora.

### Osnovni mehanizmi za simulaciju sukoba dve naoružane mobilne platforme

Simulacija sukoba dve NMP je jedna od važnijih aktivnosti u istraživanju, jer je osnovna namena NMP, kao složenog vojnog sistema upravo borba, odnosno sukob sa protivničkim NMP. Cilj izrade takvih simulacionog modela da se, putem eksperimenata sa razvijenim simulatorom, istraži uticaj

različitih parametara NMP kao sistema na tok i ishod sukoba i da se donesu adekvatne odluke o tehničkim rešenjima i načelima borbene upotrebe NMP.

Osnovni mehanizmi za simulaciju sukoba dve NMP (Janković R., 2002a, 2004d) su:

- $\tau(d)$ : transformacija datog rastojanja u vreme;
- $\lambda(t)$ : transformacija datog vremena u rastojanje;
- VD: vatreno dejstvo po protivničkoj NMP;
- $p_p$ : funkcija verovatnoće pogotka protivničke NMP;
- $p_u$ : funkcija verovatnoće uništenja pogodjene NMP;
- REM: reakciona matrica;
- KTP: komunikacija transakcija sa preusmeravanjem.

Navedeni mehanizmi su osnovni, u smislu da se redovno pojavljuju u većini simulacionih modela koji su uradjeni, ili čija izrada se predviđa u datim istraživanjima.

Postoje i drugi, specifični mehanizmi, čija potreba realizacije se javlja od slučaja do slučaja, zavisno od vrste i misija NMP koje učestvuju u sukobu. Imajući u vidu njihovu manju opštost, oni neće biti predmet ovog rada.

Takodje, treba imati u vidu da je navedeni skup osnovnih mehanizama otvoren. Očekuje se da će se u daljem radu doći do novih osnovnih mehanizama za simulaciju razmatrane klase složenih vojnih sistema.

Sada će ukratko biti razmotren svaki od ovih mehanizama.

#### a. Transformacija datog rastojanja u vreme

Na slici 7.5 može se uočiti da nastajanje glavnih događaja u sistemu, koji označavaju početak i završetak pojedinih faza sukoba ili nekih drugih aktivnosti, zavisi od međusobnog rastojanja  $D$  naoružanih mobilnih platformi NMP-1 i NMP-2. To rastojanje određuju trenutne koordinata platformi NMP-1 i NMP-2 i ono se dinamički menja u vremenu.

U simulacionom modelu je zato potrebna transformacija datog rastojanja  $D$  u odgovarajući vremenski interval  $\Delta t$  koji protekne dok se ne postigne zadata veličina rastojanja  $D$ , odnosno dok se ne stekne uslov za nastanak odgovarajućeg događaja u simuliranom sistemu. Vremenski interval  $\Delta t$  u slučaju modela kretanja sa slike 6 predstavlja realno pozitivno rešenje kvadratne jednačine:

$$A \cdot (\Delta t)^2 + B \cdot \Delta t + C - D = 0 \quad (4)$$

odnosno

$$\Delta t_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A(C-D)}}{2A} \quad (5)$$

gde su:

$$A = V_2^2 + V_1^2 - 2V_2V_1 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \quad (6)$$

$$B = 2 \{ [x_2(t) - x_1(t)](V_2 \sin \alpha_2 - V_1 \sin \alpha_1) + [y_2(t) - y_1(t)](V_2 \cos \alpha_2 - V_1 \cos \alpha_1) \} \quad (7)$$

$$C = [x_2(t) - x_1(t)]^2 + [y_2(t) - y_1(t)]^2 \quad (8)$$

Ukoliko postoje dva realna pozitivna rešenja, onda se u modelu bira manje od njih, odnosno onaj interval  $\Delta t$  za koji će rastojanje između NMP-1 i NMP-2 prvi put dostići zadatu vrednost.

Ukoliko ne postoji nijedno realno rešenje, to znači da razmatrani događaj, pod datim uslovima, nikada neće nastupiti, što onda rezultuje odgovarajućim ishodom u simulaciji.

### b. Transformacija datog vremena u rastojanje

Trajanje neke aktivnosti u sistemu, u intervalu  $\Delta t$ , imaće za posledicu po svom okončanju, pored ostalog, i promenjeno rastojanje platformi  $D(t+\Delta t)$ . Da bi se odredilo to novo rastojanje, potrebno je izvršiti transformaciju datog vremena u rastojanje.

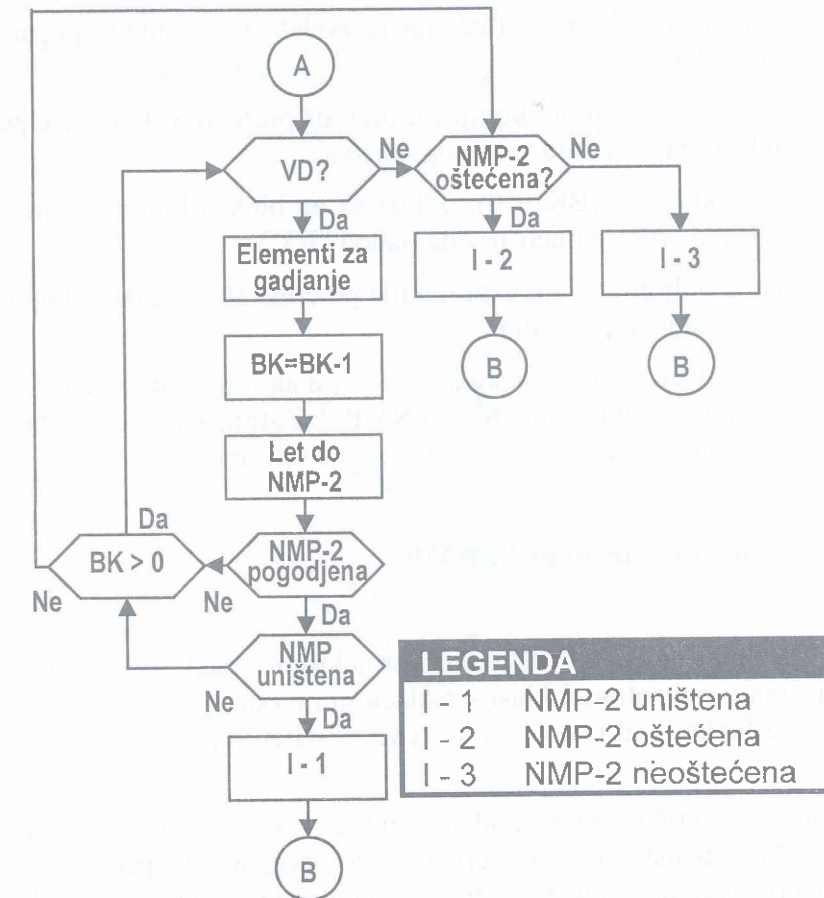
U slučaju modela sa slike 7.6, novo međusobno rastojanje platformi  $D(t+\Delta t)$  u zavisnosti od protoklog vremenskog intervala ( $\Delta t$ ) dato je izrazom:

$$D(t + \Delta t) = \sqrt{A \cdot (\Delta t)^2 + B \cdot \Delta t + C} \quad (9)$$

gde su veličine A, B i C takodje određene izrazima (6), (7) i (8), respektivno.

### c. Vatreno dejstvo po protivničkoj NMP

Dijagram toka mehanizma za simulaciju vatrenog dejstva (VD) po protivničkoj NMP prikazan je na slici 7.8.



Slika 7.8. Mehanizam za simulaciju vatrenog dejstva NMP-1

Vatreno dejstvo orudjem po protivničkoj NMP obuhvata:

- pripremne radnje (donošenje odluke, određivanje elemenata za gadjanje i podešavanje orudja),
- dejstvo orudja: ispaljenje jednog od projektila iz borbenog klompleta (BK), let projektila do protivničke NMP);
- procenu učinka vatrenog dejstva (pogadjanje i/ili uništenje);
- korekciju elemenata za gadjanje i
- ponavljanje dejstva po cilju.

Mehanizam za simulaciju vatrenog dejstva orudja NMP-1 sa slike 7.8, uključuje se u dijagram toka algoritma simulacionog modela između tačaka A i B.

Donošenje odluke o preduzimanju vatrenog dejstva (blok "VD?") zavisi od dosta činilaca, specifičnih za simulaciju sukoba različitih NMP (šta je osnovni zadatak NMP, da li je već bilo vatrenog dejstva po istom cilju, da li postoji odgovarajuća kombinacija orudje-cilj, kakvo je stanje resursa NMP itd.). Ako se donese odluka da se preduzme vatreno dejstvo, simulira se određivanje elemenata za gadjanje i priprema orudja, a zatim i ispaljivanje projektila, što rezultuje smanjivanjem borbenog kompleta (BK) za 1. Sve te radnje, pored vremenskih kašnjenja, zahtevaju i pregledanje i ažuriranje sadržaja reaktivne matrice REM-1 (Janković R., 2000) koja u modelu pripada NMP-1.

Let projektila do protivničke NMP izračunava se na osnovu njegove brzine i rastojanja NMP-1 i NMP-2. U modelu se predstavlja čistim vremenskim kašnjenjem.

Kada projektil doleti do cilja, uzorkuje se funkcija raspodele verovatnoće pogadjanja, da bi se odredilo da li je NMP-2 pogodjena.

Ako NMP-2 nije pogodjena, a u borbenom kompletu ima još projektila ( $BK > 0$ ), ponovo se odlazi na blok za donošenje odluke o nastavljanju vatrenog dejstva.

Ako je utrošen ceo borbeni komplet ( $BK = 0$ ), odlazi sa na blok u kome se određuje da li je u sukobu NMP-2 oštećena (ishod "I-2") ili neoštećena (ishod "I-3").

Ako je NMP-2 pogodjena, određuje se učinak projektila po cilju, što se u modelu postiže uzorkovanjem funkcije raspodele verovatnoće uništenja.

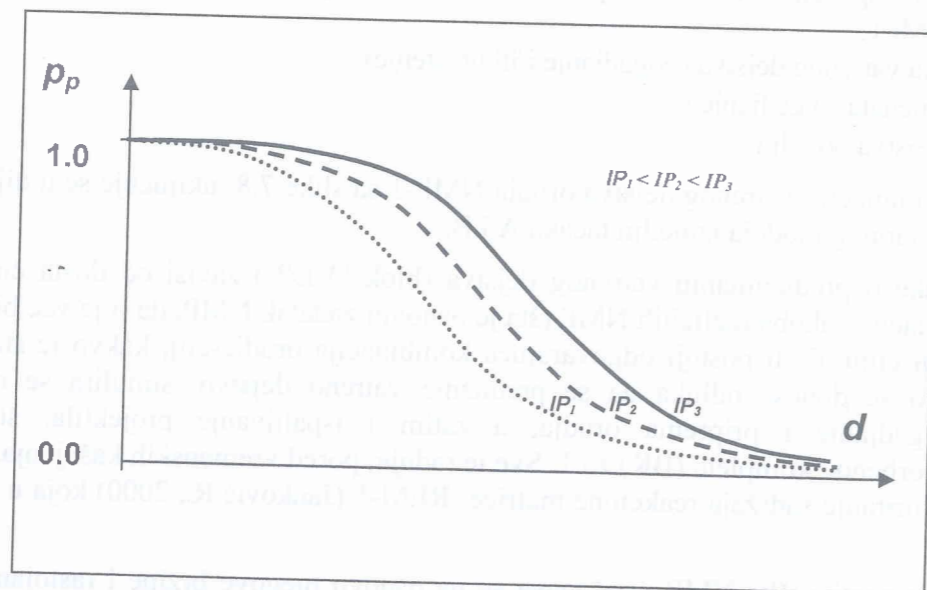
Ako je NMP-2 uništena, sukob se završava iskomom "I-1", a ako nije, prvo se u reakcionu matricu REM-2 unosi učinak (stepen oštećenja) projektila na NMP-2. Zatim se određuje da li je utrošen ceo borbeni komplet BK, pa simulacija nastavlja kao što je ranije opisano.

#### d. Funkcija verovatnoće pogotka protivničke NMP

Verovatnoća pogotka ( $p_p$ ) protivničke NMP jednim projektilom jedan je od najvažnijih osnovnih funkcionalnih mehanizama u razmatranoj klasi simulacionih modela. Na slici 7.9 prikazan je opšti izgled familije krivih  $p_p$  u funkciji od rastojanja  $d$ , za više različitih površina cilja izloženih dejstvu orudja ( $IP$ ).

Na verovatnoću pogotka,  $p_p$ , utiču i razni dodatni činioci, zavisno od vrste orudja i projektila, odnosno njihovih tehničkih i balističkih karakteristika, što zbog svojih specifičnosti od slučaja do slučaja izlazi iz domena ove studije. Ono što je opšte je da u svim slučajevima orudje OR-1 treba da na rastojanju  $d$  pogodi ukupnu izloženu površinu ( $IP$ ) NMP-2, koja zavisi od njenog pravca kretanja i položaja u odnosu na NMP-1 (slika 7.10).

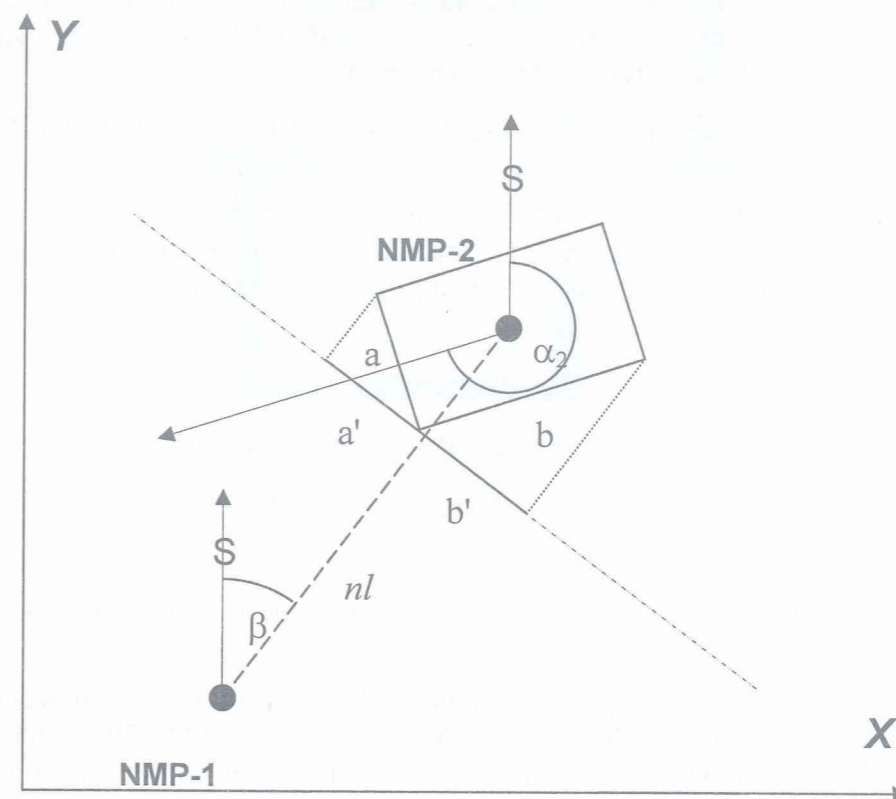
Pretpostavimo da se NMP-2 može po obliku uprošćeno predstaviti paralelepipedom čije su dimenzije  $a$  (širina),  $b$  (dužina) i  $c$  (visina). Ukupna izložena površina je projekcija paralelepipeda na ravan upravnu na nišansku liniju koja spaja orudje OR-1 sa NMP-2. Minimalna izložena



površina  $IP_{min} = ac$ , a maksimalna  $IP_{max} = c\sqrt{a^2 + b^2}$ . U nekom proizvoljnom položaju i pravcu kretanja NMP-2, njena ukupna površina izložena dejstvu orudja OR-1 je  $IP = c(a'+b')$ .

Slika 7.9. Opšti oblik familije krivih  $p_p(IP, d)$

Na slici 7.10 se vidi da je izložena površina u nekom proizvoljnom položaju NMP-2 definisana izrazom:



Slika 7.10. Izložena površina NMP-2

$$IP = \frac{c}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \left( a \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2}} + b \frac{1 - \operatorname{ctg} \alpha_2 \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha_2}} \right) \quad (10)$$

gde su:  $a$ ,  $b$  i  $c$  - dimenzije NMP-2,  $\alpha_2$  - azimut pod kojim se kreće NMP-2,  $\beta$  - ugao između nišanske linije  $nl$  i pravca severa.

Mehanizam se koristi tako što se prvo odredi  $IP$ , a zatim pomoću  $IP$  odabere odgovarajuća kriva iz familije  $p_p(IP, d)$  i, za dato rastojanje  $d$ , tako dobije odgovarajuća verovatnoća pogotka  $p_p$ . Najzad, generiše se slučajni broj i pomoću  $p_p$  odredi da li je NMP-2 pogodjena ili nije.

#### e. Funkcija verovatnoće uništenja pogodjene NMP

Pogodak u NMP-2 ne znači uvek i njeno uništenje. U realnom sistemu, pogodak u većini slučajeva prouzrokuje samo izvestan stepen oštećenja NMP-2. Do uništenja dolazi ukoliko je pogodjen neki izuzetno osetljiv deo NMP-2, ili ako je ona, usled prethodnih pogodaka, već oštećena u tolikoj meri da je posledica posmatranog pogotka dovoljna da je trajno onesposobi za dalja borbena dejstva. Mehanizam za simulaciju treba da omogući:



- određivanje verovatnoće uništenja jednim pogotkom i
- "memorijsko" svojstvo pogadjanja NMP-2 (kumulativni efekt oštećenja usled više uzastopnih pogodaka).

U slučaju na slici 7.10, dejstvu orudja OR-1 može biti izložena najmanje jedna (cela) i najviše dve (smanjene) bočne površine NMP-2. Koje će to površine biti zavisi od položaja NMP-1 koja ima orudje OR-1 i NMP-2 koja predstavlja cilj. Određivanje verovatnoće uništenja NMP ako se pogodi neka od njenih površina je složen problem, specifičan za svaku NMP posebno, kao i za neke druge činioce (kombinaciju cilj-orudje, daljinu, parametre kretanja).

Svaka od izloženih površina NMP-2 ima drugačiju vrednost verovatnoće uništenja jednim pogotkom.

Ako je NMP-2, na primer, tenk - on će, kao tipično ofanzivna NMP imati najbolju zaštitu, pa samim tim i najmanju verovatnoću uništenja ( $p_{u1}$ ) na prednjoj površini, nešto manje (i međusobno različite)  $p_{u2}$  i  $p_{u4}$  na bočnim površinama i najmanju  $p_{u3}$  na zadnjoj površini. Zato je ukupna verovatnoća uništenja NMP-2 određena izrazom:

$$p_u = \frac{c}{\sqrt{1+tg^2\beta}} \left( a \frac{1+tg\alpha_2tg\beta}{\sqrt{1+tg^2\beta}} p_{u1} + b \frac{1-ctg\alpha_2tg\beta}{\sqrt{1+ctg^2\alpha_2}} p_{u2} \right) \quad (11)$$

gde su:  $p_{ui}$  i  $p_{uj}$  verovatnoće uništenja NMP-2 pogotkom u njene površine  $i$  i  $j$  koje su izložene dejstvu orudja OR-1.

Memorijsko svojstvo oštećenja NMP-2 pogocima orudja OR-1 ostvaruje se u kombinaciji sa drugim osnovnim mehanizmom - reakcionom matricom REM-2 (Janković R., 2000, 2003, 2003c, 2004d). U njoj se, u toku simulacije vodi evidencija o svim pogocima (na primer, za sve četiri površine NMP-2 sa slike 7.10) i o efektu svakog od njih na pojedine važne podsisteme i delove NMP-2.

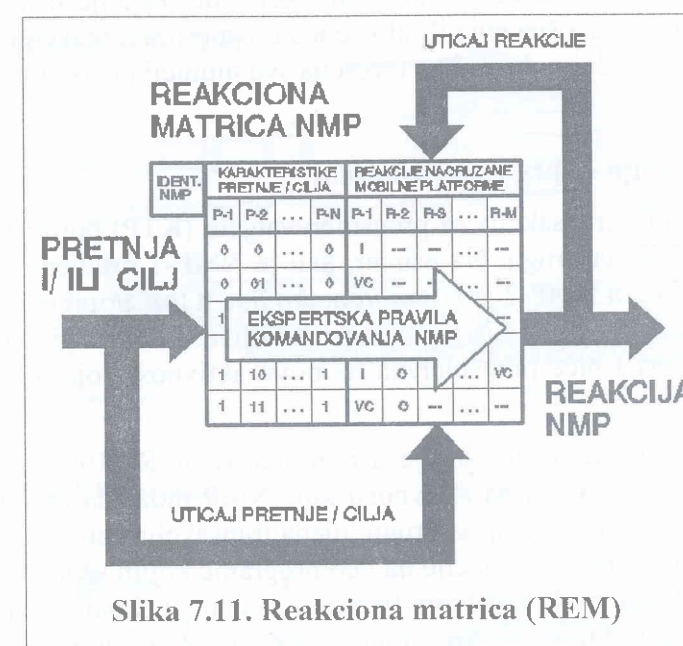
Kumulativno svojstvo postiže se postepenim povećanjem pojedinačnih i ukupne verovatnoće uništenja u zavisnosti od ostvarenih pogodaka NMP-2 orudjem OR-1.

#### f. Reakciona matrica

Reakciona matrica (REM), detaljnije opisana u (Janković R., 2000 2004d), čija je logička organizacija prikazana na slici 7.11, omogućava da se u simulaciju sukoba uvedu:

- Karakteristike pretnje/cilja koji imaju značaja za simulaciju sukoba, reakcije i borbenih dejstava naoružane mobilne platforme.
- Karakteristike i stanje bitnih podsistema, delova i drugih resursa naoružanih mobilnih platformi u sukobu, NMP-1 i NMP-2.
- Ekspertska pravila odlučivanja u komandovanju svake od naoružanih mobilnih platformi koja se primenjuju radi određivanja reakcije NMP u konfliktnoj situaciji.

Za svaku NMP u sukobu postoji po jedna odgovarajuća reakciona matrica, REM-1 i REM-2.



Slika 7.11. Reakciona matrica (REM)

Karakteristike pretnji i/ili ciljeva su važnost protivničke NMP, verovatnoće uništenja (kako protivničke NMP, tako i sopstvene NMP od strane protivnika) i slično. Moguće reakcije NMP-1 i NMP-2 na različite događaje u sukobu su podskup skupa svih reakcija naoružane mobilne platforme, preslikan na uređen skup odgovarajućih polja u matrici  $\{R_1, R_2, \dots, R_K\}$ . Na primer, na samu pojavu NMP-2, NMP-1 reaguje aktivnostima zapisanim u odgovarajućim poljima REM-1.

Ekspertska pravila odlučivanja u komandovanju (znanje posade NMP) uvode se u simulacioni model preko koncepta REM, tako što su u njoj naznačene reakcije iz skupa mogućih reakcija  $\{R_1, R_2, \dots, R_M\}$  koje se primenjuju za svaki mogući simulirani događaj. Ta ekspertska pravila vrše preslikavanje jedne realizacije skupa karakteristika date pretnje na uređeni podskup skupa mogućih reakcija, odnosno:

$$\{P_1, P_2, \dots, P_N\} \xrightarrow{\text{ekspertska pravila komandovanja}} \{R_1, R_2, \dots, R_K\} \quad (12)$$

gde je:  $\{R_1, R_2, \dots, R_K\} \subseteq \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$

Reakciona matrica je dinamička struktura, koja se menja u vremenu. Na te promene direktno utiču, kako različiti događaji u sukobu, tako i same reakcije naoružane mobilne platforme. To rezultuje promenom u skupu polja mogućih reakcija od trenutka  $T_i$  (prethodno stanje) do trenutka  $T_j$  (trenutak nastanka promene usled događaja u sukobu ili reakcije NMP):

$$\{R_1, R_2, \dots, R_M\}_i \xrightarrow{\text{događaj ili reakcija}} \{R_1, R_2, \dots, R_M\}_j \quad (13)$$

Svaki događaj u kome je zbog nekog događaja uništen ili oštećen, odnosno reakcija zbog koje je utrošen neki resurs NMP, utiču na mogućnost dalje primene reakcije uslovljene tim resursom, u zavisnosti od stepena uništenja, oštećenja ili utrošenosti. Na primer, reakcija otvaranja vatre postaje nemoguća ukoliko je u prethodnim dejstvima utrošena sva municija iz borbenog kompleta orudja.

#### g. Komunikacija transakcija sa preusmeravanjem

Mehanizam za komunikacije transakcija sa preusmeravanjem (KTP) potreban je da bi se u modelu simulirao uticaj jedne NMP na drugu. Na primer, ako je NMP-1 orudjem OR-1 uspjela da pogodi NMP-2 i uništi orudje OR-2, a NMP-2 je u tom trenutku bila u fazi pripreme za vatreno dejstvo, ona će morati da prekine tu aktivnost koja je postala neizvodljiva. Transakcija koja predstavlja NMP-2 obustaviće tekuću aktivnost i biće preusmerena na novu aktivnost koja odgovara takvom razvoju sukoba.

Jedna od mogućih realizacija KTP opisana je u radu (Janković R., 1997) i svodi se na upotrebu posebnih entiteta, po jedan za svaku od aktivnosti koje NMP može da preduzima u modelu. Kada jedna od NMP želi da iskaže svoj uticaj na drugu, njena transakcija zauzima pomoću prekida sve te entitete, uz preusmeravanje druge transakcije na deo programa kojim se simulira iznudjena reakcija. Obzirom da druga transakcija može u jednom trenutku zauzimati samo jedan od tih entiteta, ona će preduzeti baš odgovarajuću aktivnost, dok prekid zauzeća ostalih entiteta kojim se predstavljaju druge aktivnosti u modelu neće proizvesti nikakvu posledicu u simulaciji.

### 7.6 SIMULACIJA IZNENADNOG SUKOBA DVA TENKA

#### Tenk kao naoružana mobilna platforma

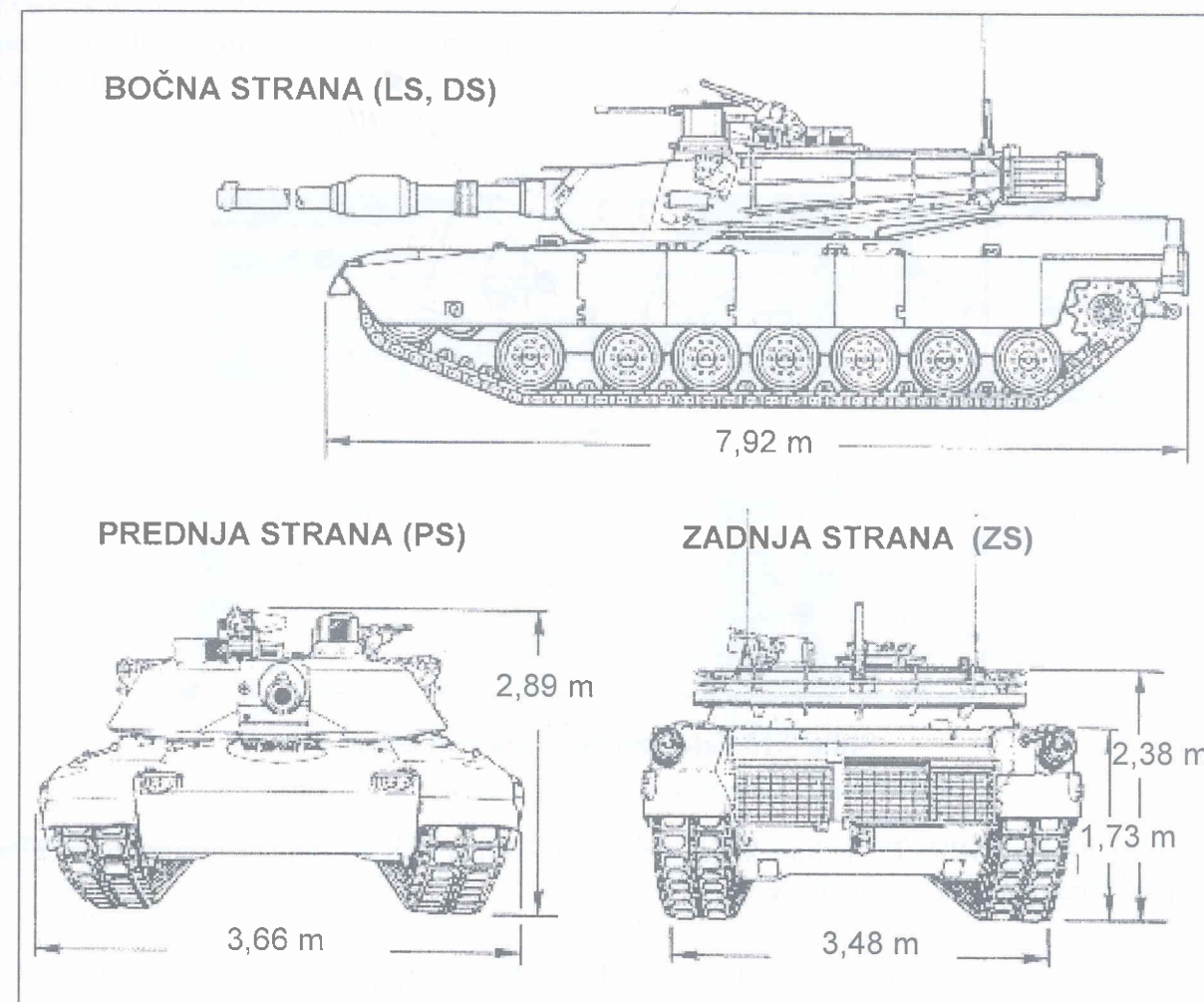
Tenk je ofanzivno oklopno borbeno vozilo, što znači da mu je stepen zaštite najveći na prednjoj strani, nešto manje na bočnim stranama, a najmanji na zadnjoj (Janković R., 2002b, 2003a). Izgled i osnovne dimenzije dati su na slici 7.12.

Imajući u vidu te dimenzije, raspored područja posebno važnih za funkcionisanje tenka i njihovu osetljivost na pogotke, takav tenk se u ovoj simulaciji najpre aproksimira paralelepipedom čije su dimenzije  $a = 3,5$  m,  $b = 8$  m i  $c = 3$  m.

Posadu tenka čine komandir, nišandžija, poslužilac i vozač. Prva trojica mogu međusobno da se zamene, pa kod izbacivanja iz stroja nekog od njih, tenk još uvek funkcioniše, mada sa smanjenim performansama. Vozač je nezamenljiv, pa je takav pogodak kritičan. Komandir i nišandžija su u kupoli sa desne strane u pravcu vožnje, poslužilac sa leve strane, a vozač je u sredini prednjeg dela tenka.

Osnovni pogon (motor, transmisija) je u zadnjem delu tenka i najizloženiji je sa zadnje, manje sa bočnih, a najmanje sa prednje strane tenka.

Hodni mehanizam (gusenice, pogonski točkovi itd.) najmanje je izložen sa prednje, više sa zadnje, a najviše sa bočnih strana tenka. Mehanizam za pokretanje kupole je najviše izložen u delu na sastavu između kupole i tela tenka.

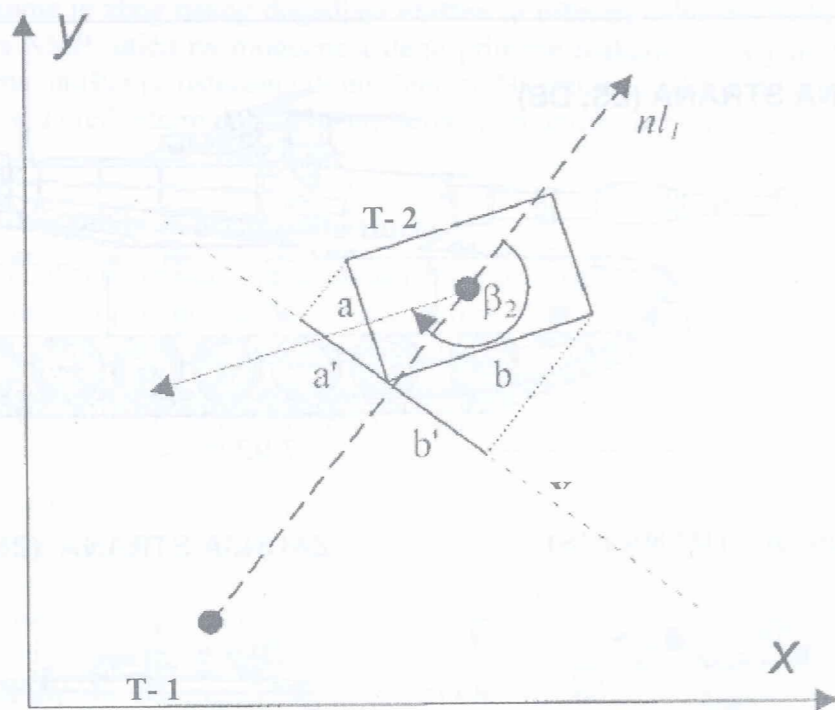


Slika 7.12. Tenk kao naoružana mobilna platforma: izgledi strana i osnovne dimenzije

Osmatračko-nišanske (O-N) sprave komandira i nišandžije su zamenjive u okviru svojih osnovnih funkcija. Pored toga, ako nisu van stroja njen osnovni korisnik i vozač, svaka od njih u izvesnoj mери može da zameni uništenu osmatračku spravu vozača.

Uništeno glavno orudje je kritičan efekat pogotka u tenk. Ono je najmanje izloženo sa zadnje, nešto više sa prednje i najviše sa bočnih strana tenka.

Ako se tenkovi u sukobu predstavljaju paralelepipedima dimenzija  $a$ ,  $b$  i  $c$ , onda orudje tenka T-1 (OR-1) na rastojanju  $d$  treba da pogodi ukupnu izloženu površinu (IP-2) tenka T-2, koja zavisi od njegovog pravca kretanja i položaja u odnosu na T-1 (slika 7.13).



Slika 7.13. Izložena površina tenka T-2

Ukupna izložena površina T-2 je projekcija paralelepipeda na ravan upravnu na nišansku liniju ( $nl_1$ ) koja spaja oruđe OR-1 sa T-2 i data je izrazom:

$$IP_2 = a_2 c_2 |\cos \beta_2| + b_2 c_2 |\sin \beta_2| = S_{2/1,3} |\cos \beta_2| + S_{2/2,4} |\sin \beta_2| \quad (14)$$

gde su:

$a_2$ ,  $b_2$  i  $c_2$  - dimenzije tenka T-2,  $\beta_2$  - ugao pod kojim se T-2 kreće u odnosu na nišansku linije  $nl_1$  oruđa OR-1 tenka T-1, a  $S_{2/1,3}$  i  $S_{2/2,4}$  površine strana paralelepipeda kojim se predstavlja T-2.

Na isti način, određuje se ukupna izložena površina T-1:

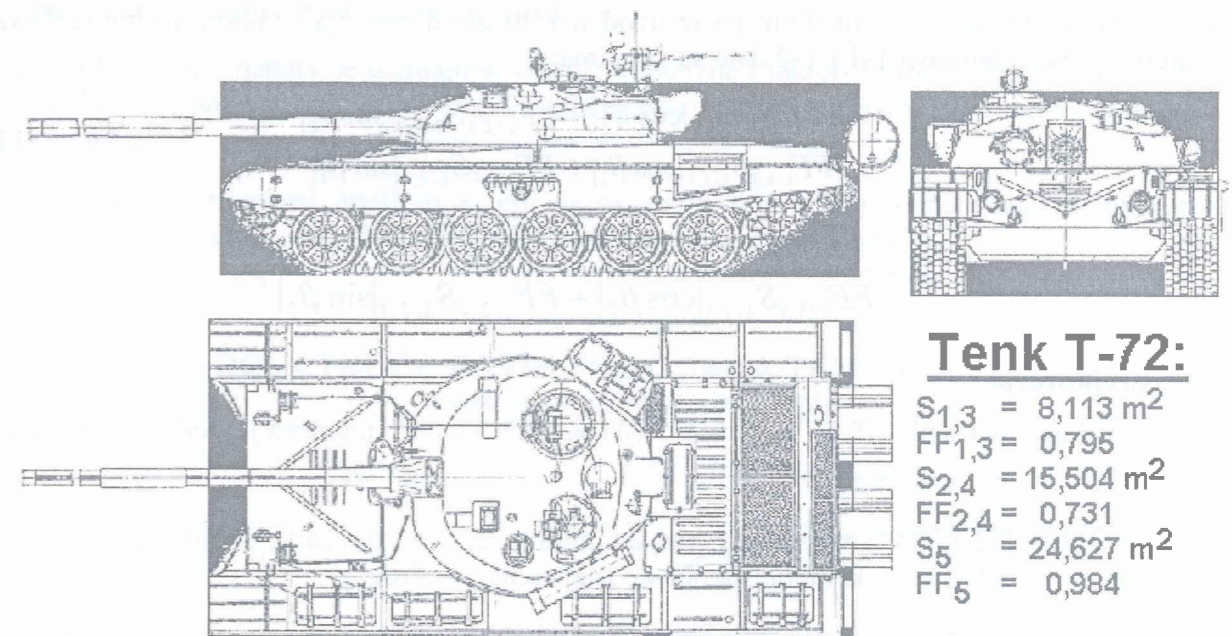
$$IP_1 = S_{1/1,3} |\cos \beta_1| + S_{1/2,4} |\sin \beta_1| \quad (15)$$

U poboljšanom simulacionom modelu (Janković R., 2007a, 2007b), pored dimenzija tenka, koje se uvode preko površina strana paralelepipeda kojim se on aproksimira, uzimaju se u obzir i faktori forme, koji su definisani izrazom:

$$FF_{i,j} = \frac{S_{T_{i,j}}}{S_{i,j}} \quad (16)$$

gde su  $S_{T_{i,j}}$  stvarna površina tenka, a  $S_{i,j}$  površina odgovarajuće strane njegovog aproksimativnog paralelepipeda.

Primer određivanja faktora forme za poznati tenk T-73 prikazan je na slici 7.14 (zatamnjeni su delovi površine za koje se stranica aproksimativnog paralelepipeda razlikuje od odgovarajuće realne površine tenka).



Slika 7.14. Aproksimativne površine i faktori forme

U tabeli 7.2 određene su aproksimativne površine i faktori forme za nekoliko poznatijih savremenih tenkova (Janković R., 2007a, 2007b). U toj tabeli, indeks 1,3 odnosi se na prednju i zadnju stranu tenka, indeks 2,4 na bočne strane, a indeks 5 na gornju površinu tenka.

Tabela 7.2. Aproksimativne površine i faktori forme

| Naziv tenka    | Zemlja porekla  | FF <sub>1,3</sub>                  | FF <sub>2,4</sub>                  | FF <sub>5</sub>                  |
|----------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|                |                 | S <sub>1,3</sub> [m <sup>2</sup> ] | S <sub>2,4</sub> [m <sup>2</sup> ] | S <sub>5</sub> [m <sup>2</sup> ] |
| ABRAMS<br>M1A2 | SAD             | 0,857                              | 0,795                              | n.p.                             |
|                |                 | 8,711                              | 22,888                             | 28,987                           |
| ARIETE 6       | Italija         | 0,832                              | 0,839                              | 0,993                            |
|                |                 | 9,025                              | 18,975                             | 27,400                           |
| LEOPARD 2      | Nemačka         | 0,856                              | 0,849                              | 0,936                            |
|                |                 | 11,100                             | 23,100                             | 28,490                           |
| T-90           | Rusija          | 0,808                              | 0,739                              | 0,931                            |
|                |                 | 7,908                              | 16,0                               | 25,510                           |
| M-84           | Srbija<br>(SRJ) | 0,795                              | 0,731                              | 0,984                            |
|                |                 | 8,113                              | 15,504                             | 24,627                           |

U prethodnim verzijama simulatora, verovatnoće pobeđa tenkova T-1 i T-2 u sukobu bile su izražene samo preko verovatnoća pogađanja glavnih oruđa  $p_1$  i  $p_2$  (u razmatranom slučaju 80% i 70% respektivno).

U poboljšanom simulacionom modelu, posle uvođenja uticaja dimenzija i faktora forme tenkova, verovatnoće pobeđa tenkova T-1 i T-2 date su izrazima:

$$P_{T-1} = \frac{FF_{2/1,3}S_{2/1,3}|\cos \beta_2| + FF_{2/2,4}S_{2/2,4}|\sin \beta_2|}{FF_{1/1,3}S_{1/1,3}|\cos \beta_1| + FF_{1/2,4}S_{1/2,4}|\sin \beta_1|} p_1 \quad (17)$$

$$P_{T-2} = \frac{FF_{1/1,3}S_{1/1,3}|\cos \beta_1| + FF_{1/2,4}S_{1/2,4}|\sin \beta_1|}{FF_{2/1,3}S_{2/1,3}|\cos \beta_2| + FF_{2/2,4}S_{2/2,4}|\sin \beta_2|} p_2 \quad (18)$$

### Polazne pretpostavke

Simulacija sukoba dva tenka, T-1 (T-90) i T-2 (ABRAMS M1A2), izvršena je pod sledećim pretpostavkama:

- Tenkovi T-1 i T-2 kreću se u susret, pod azimutima  $\alpha_1$  i  $\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ$ , svojim maksimalnim brzinama  $V_1$  i  $V_2$ . Do neočekivanog sukoba ne znaju jedan za drugog.
- Tenkovi T-1 i T-2 imaju osmatračko-nišanske sprave ON-1 i ON-2, koje služe za osmatranje i upravljanje vatrom. One su definisani svojim krajnjim dometima  $D_{ON-1}$  i  $D_{ON-2}$ .
- TENKOVI T-1 i T-2 imaju oruđa OR-1 i OR-2 koja mogu da pogode protivnika sa verovatnoćama  $p_{OR-1}$  i  $p_{OR-2}$  u funkciji od rastojanja. Prosečna vremena pripreme oruđa za dejstvo su  $T_{OR-1}$  i  $T_{OR-2}$ , dometi  $D_{OR-1}$  i  $D_{OR-2}$ , brzine leta projektila do cilja  $V_{L-1}$  i  $V_{L-2}$  i veličine borbenih kompleta municije  $BK_1$  i  $BK_2$ .
- Sukob T-1 i T-2 počinje kada bar jedan od njih otkrije protivnika pomoću svoje osmatračko-nišanske sprave. Kada sukob jednom počne, više nema odustajanja do njegovog okončanja.
- Sukob prestaje kada se postigne prvi od pogodaka sa kritičnim učinkom, kada u procesu postepenog uništenja učinak pogotka postane kritičan ili kada oba oruđa ostanu bez municije.
- Podaci o T-1 i T-2 koji su korišćeni u simulaciji, dati su u tabeli 7.3.

Tabela 7.3. Uporedne karakteristike tenkova u sukobu

| NAZIV                                  | T-1        | T-2              |
|--|------------|------------------|
| Maksimalna brzina $V_i$ [m/s]          | 18         | 18               |
| Azimut $\alpha_i$ [°]                  | $\alpha_1$ | $\alpha_1 + 180$ |
| Domet ON-sprava $D_{ON-i}$ [m]         | 5000       | 5000             |
| Domet oruđa $D_{OR-i}$ [m]             | 5000       | 2000             |
| Verovatnoća pogađanja $p_i$ [%]        | 80         | 70               |
| Vreme pripreme oruđa $T_{OR-i}$ [s]    | $10 \pm 4$ | $8 \pm 2$        |
| Brzina leta projektila $V_{L-i}$ [m/s] | 300        | 1800             |
| Veličina borbenog kompleta $BK_i$      | 4          | 45               |

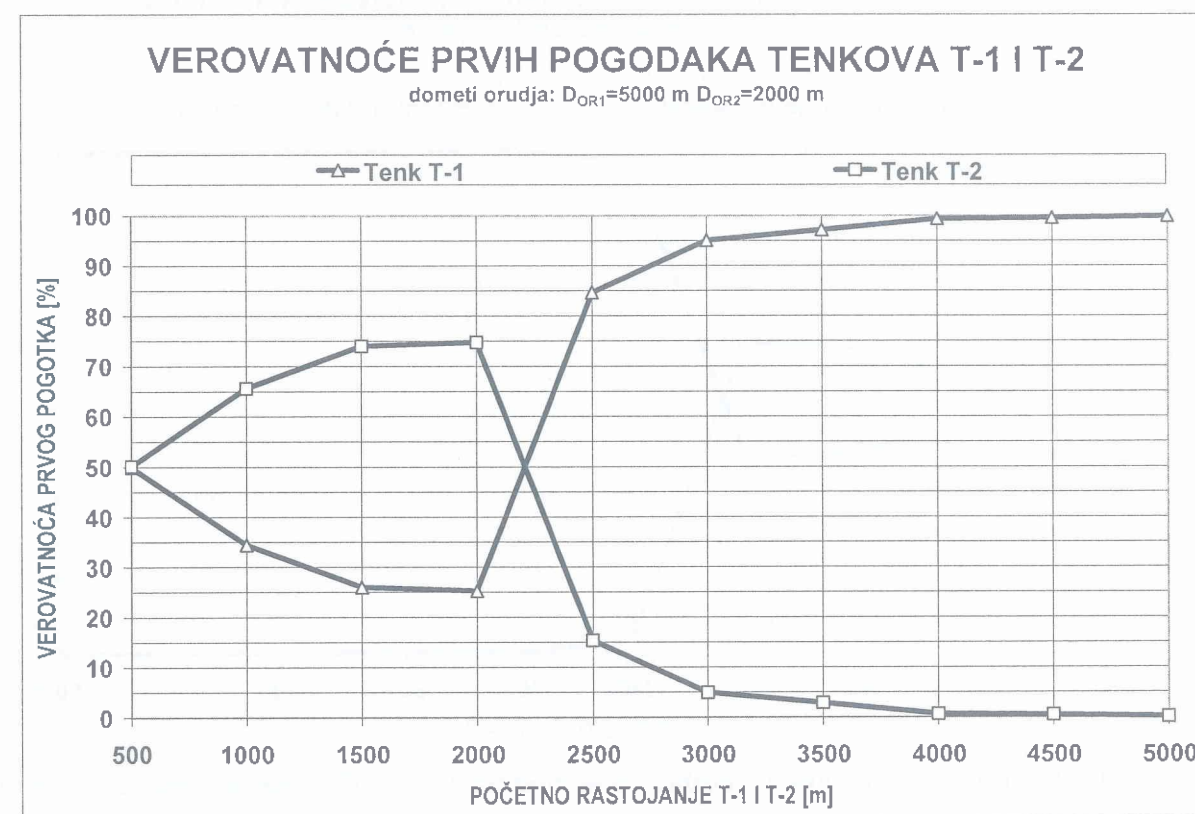
### Analiza rezultata eksperimenata

Ukupno je izvršeno 20 eksperimenata, od kojih se svaki sastojao od  $N=10000$  simuliranih sukoba. Faktori čije su vrednosti menjane u toku eksperimenata bili su:

- početno rastojanje tenkova,  $D_0 = \{500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000\}$  metara;
- uvođenje ili neuvođenje korekcije verovatnoće ishoda sukoba u modelu uzimanjem u obzir uticaja dimenzija i faktora forme tenkova.

U prvih 10 eksperimenata ne uzimaju se u obzir dimenzije i faktori forme suprotstavljenih tenkova, što znači da se smatra da su tenkovi po dimenzijama i obliku identični, a ostale karakteristike su date u tabeli 7.3.

Drugih 10 eksperimenata imali su za cilj da se utvrdi kakve su posledice usavršavanja modela uvođenjem uticaja dimenzija i faktora forme tenkova, koji su dati u tabeli 7.2.



Slika 7.15. Rezultati prvobitnog simulacionog modela (bez uticaja dimenzija i faktora forme)

Na slici 7.15 može se uočiti da su, u prvoj grupi eksperimenata, sa jednostavnijim modelom (bez uzimanja u obzir uticaja dimenzija i faktora forme tenkova), na minimalnom početnom rastojanju od 500m, verovatnoće da prvi pogodak postigne T-1 ili T-2 približno jednake.

Na rastojanjima od 500m do 2000m raste verovatnoća da prvi pogodak postigne T-2 i dostiže vrednost od 75%.

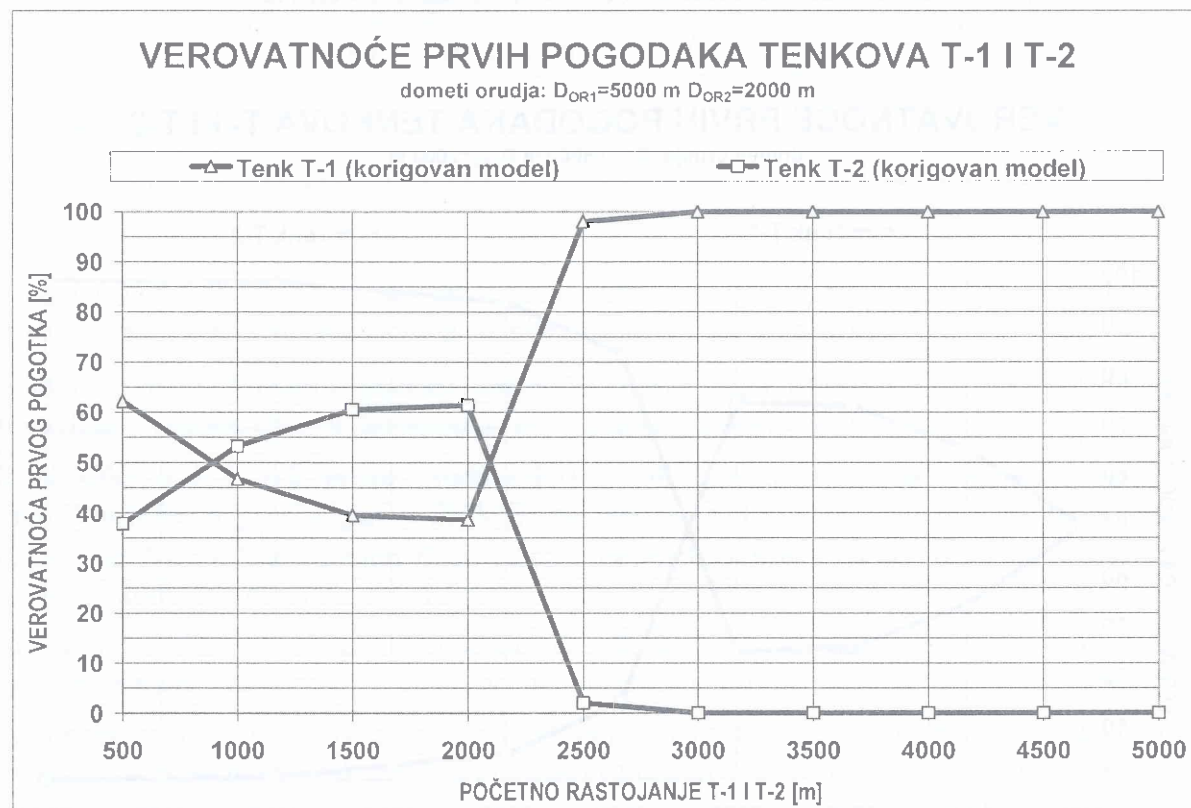
Opseg početnih rastojanja od 2000m do 2500m je zona promene, kada se verovatnoće prvih pogodaka najpre izjednačuju, a zatim raste verovatnoća prvog pogotka T-1, do svoje maksimalne vrednosti od 99,88 %.

Druga grupa eksperimenata (slika 7.16) pokazuje da uvođenje uticaja dimenzija i faktora forme tenkova u model sukoba ima značajan uticaj na rezultate simulacije.

Na minimalnom početnom rastojanju od 500m, verovatnoće da prvi pogodak postigne T-1 ili T-2 sada se razlikuju i iznose 62,2% i 37,8% respektivno. To je posledica manjih dimenzija i boljeg faktora forme tenka T-1, kao i relativno kratkog rastojanja, koje ne omogućava da izražaja dođe razlika u brzinama protivoklopne vodene rakete i potkalibarnih probojnih projektila.

Na rastojanjima od 500m do 2000m raste verovatnoća da prvi pogodak postigne T-2 i dostiže vrednost od 61,41%, što je, iz istog razloga, znatno manje nego u prvoj grupi eksperimenata.

Opseg početnih rastojanja od 2000m do 2500m je zona promene, kada se verovatnoće prvih pogodaka najpre izjednačuju, a zatim naglo raste verovatnoća prvog pogotka T-1, do svoje maksimalne vrednosti od 100%.



Slika 7.16. Rezultati poboljšanog simulacionog modela (uticaj dimenzija i faktora forme)

U odnosu na prvu grupu eksperimenata to se dešava znatno brže, pa se apsolutna prednost tenka T-1 postiže već na rastojanjima preko 3000m.

Na osnovu poredjenja rezultata ove dve grupe eksperimenata, može se zaključiti da uvođenje dimenzija i faktora forme tenkova u simulacioni model značajno utiče na realnost simulacije iznenadnog sukoba dva tenka. Takav poboljšani model predstavlja solidnu osnovu za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

### 7.7 SIMULACIJA UTROŠKA MUNICIJE U TOKU IZNENADNOG SUKOBA DVA TENKA

U ovom odeljku studije prikazuje se simulacija utroška municije glavnih orudja u neočekivanom sukobu dva tenka, pomoću modela u kome se primenjuje mehanizam postepenog uništenja protivničkog tenka usled dejstva glavnog orudja.

U radu (Janković R., 2001c), uveden je simulacioni model sukoba dve naoružane mobilne platforme (NMP). Cilj izrade takvih simulacionog modela je da se, putem eksperimenata sa razvijenim simulatorom, istraži uticaj različitih parametara NMP kao sistema na tok i ishod sukoba i da se donesu odluke o tehničkim rešenjima i načelima borbene upotrebe NMP.

Osnovni mehanizmi za simulaciju sukoba dve NMP (Janković R., 2002a, 2004d) su:

- $\tau(d)$ : transformacija datog rastojanja u vreme;
- $\lambda(t)$ : transformacija datog vremena u rastojanje;
- VD: vatreno dejstvo po protivničkoj NMP;
- $p_p$ : funkcija verovatnoće pogotka protivničke NMP;
- $p_u$ : funkcija verovatnoće uništenja pogodjene NMP;
- REM: reakciona matrica;
- KTP: komunikacija transakcija sa preusmeravanjem.

Ti mehanizmi su poslužili za razvoj simulatora sukoba tenkova T-1 i T-2, u cilju ispitivanja uticaja izbora glavnog orudja na ishod sukoba (Janković R., 2002b).

Jedna od polaznih pretpostavki bila je da se sukob okončava kada jedan tenk pogodi protivnika, ili kada usled potpunog utroška glavna orudja ostanu bez municije. Mada se u praksi NMP ponekad zaista izbacuje iz stroja posle prvog primljenog pogotka, ova pretpostavka ipak nije opštevažeća, zbog različite osetljivosti pojedinih vrsta NMP na prvi pogodak, koja varira od veoma velike (avion), preko srednje (tenk), pa do manje (ratni brod).

Zato je u radu (Janković R., 2003a) uveden mehanizam za simulaciju postepenog uništenja naoružane mobilne platforme koja je pogodjena sa jednim ili više projektila iz orudja protivnika. Takav mehanizam u osnovi obezbeđuje:

- određivanje verovatnoće uništenja jednim pogotkom i
- "memorijsko" svojstvo pogadjanja NMP (kumulativni efekt oštećenja usled više uzastopnih pogoddataka).

U radovima (Janković R., 2003c, 2004a, 2004b i 2004c), razvijen je model i izvršena simulacija dva tenka, koji imaju identične karakteristike, izuzev glavnog orudja (tabela 7.4). Kod jednog od njih, to je klasičan top koji ispaljuje protivoklopne probojne potkalibarne projektele, a kod drugog protivoklopna vodjena raketa.

Uporedne karakteristike tenkova u sukobu date su u tabeli 7.4. Vidi se da je model poboljšan u pogledu verovatnoće pogadjanja cilja projektilom iz glavnog orudja tenka,  $p_{OR-i}$ , koja je u ovom pristupu data funkcionalnim zavisnostima, prikazanim na slici 7.18.

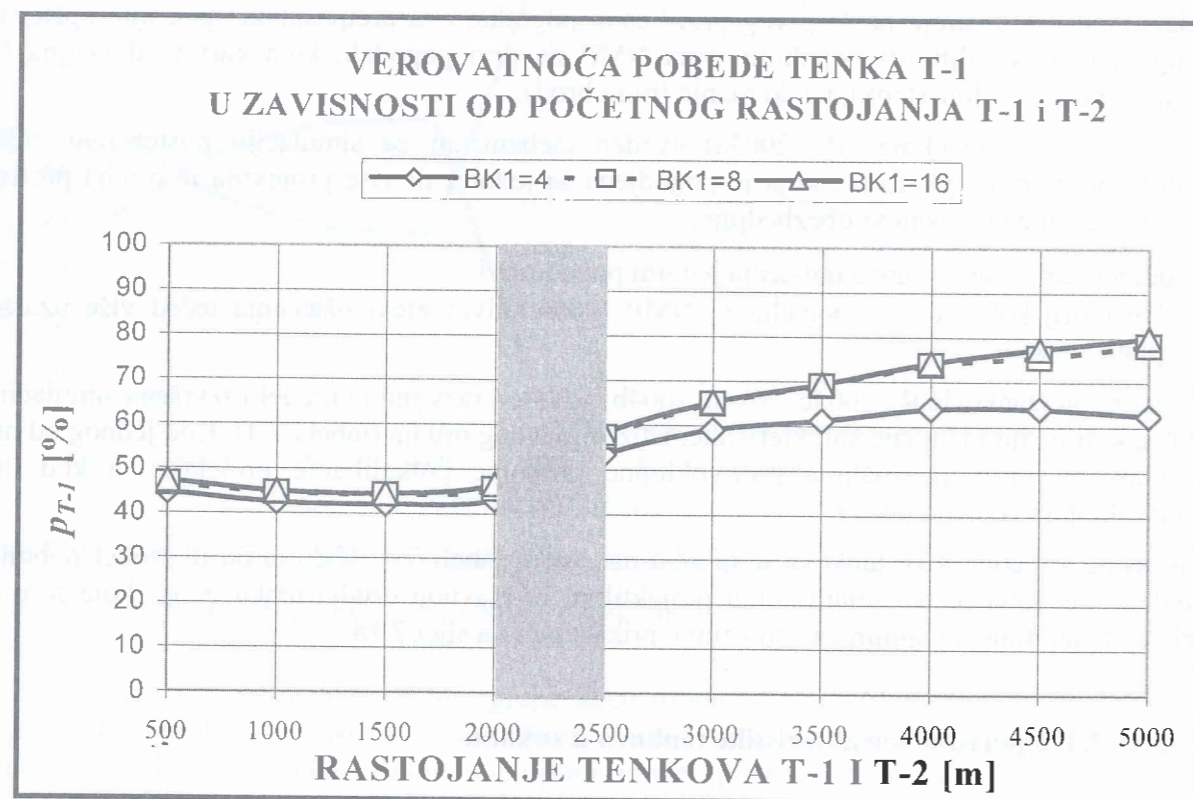
Tabela 7.4. Uporedne karakteristike tenkova u sukobu

| NAZIV                           | T-1        | T-2            |
|---------------------------------|------------|----------------|
| Maksimalna brzina $V_i$ [m/s]   | 18         | 18             |
| Azimut $\alpha_i$ [°]           | $\alpha_1$ | $\alpha_1+180$ |
| Domjet ON-sprava $D_{ON-i}$ [m] | 5000       | 5000           |
| Domjet orudja $D_{OR-i}$ [m]    | 5000       | 2000           |

|  |            |            |
|--|------------|------------|
| Funkcija verovatnoće pogadjanja $p_{OR-i}$ [%] | (slika18)  | (slika 18) |
| Vreme pripreme orudja $T_{OR-i}$ [s]           | $10 \pm 4$ | $8 \pm 2$  |
| Brzina leta projektila $V_{L-i}$ [m/s]         | 300        | 1800       |
| Veličina borbenog kompleta $BK_i$              | 4/ 8/ 16   | 45         |

U analizi su prikazani neki od rezultata ukupno 30 izvršenih eksperimenata u kojima su menjani sledeći parametri: početno rastojanje tenkova u sukobu i veličina borbenog kompleta (broja raketa) na raspolaganju u tenku T-1. Tu se procenjuju efekti dejstva glavnih orudja na protivničke tenkove i verovatnoće pobeđe tenka T-1.

Na slici 7.17 prikazane su verovatnoće pobeđe tenka T-1 u funkciji početnog rastojanja tenkova u sukobu i veličine borbenog kompleta (broja raketa) u tenku T-1.



Slika 7.17. Verovatnoća pobeđe tenka T-1

Uočavaju se tri zone: do 2000 m, gde u većem broju slučajeva pobeđuje T-2, od 2000 do 2500 m (osenčeno) gde dolazi do promene i od 2500 do 5000 m, gde sa povećanjem početnog rastojanja sve više dominira tenk T-1.

Rezultati simulacionih eksperimenata ukazuju na to da na rastojanjima do 2000 m, prednost ima tenk T-2 naoružan klasičnim topom koji izpaljuje brze potkalibarne probojne projekte, a na rastojanjima od 2500 m do 5000 m tenk T-1 naoružan vodjenim protivoklopnim raketama. Razlike

su izraženije kada se broj raketa poveća sa 4 na 8, što je u razmatranim slučajevima i optimalna vrednost borbenog kompleta.

U ovom odeljku se, u analizi rezultata 30 eksperimenata izvršenih sa programom simulatorom implementiranim pomoću jezika GPSS World, razmatraju se utrošci municije  $UM_1$  i  $UM_2$  glavnih orudja tenkova T-1 i T-2, respektivno.

Polazne pretpostavke za izradu simulacionog modela iznenadnog sukoba tenkova T-1 i T-2 su sledeće:

- T-1 i T-2 kreću se u susret, pod azimutima  $\alpha_1$  i  $\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ$ , svojim maksimalnim brzinama  $V_1$  i  $V_2$ . Do neočekivanog sukoba ne znaju jedan za drugog.
- T-1 i T-2 imaju osmatračko-nišanske sprave ON-1 i ON-2, koje služe za osmatranje i upravljanje vatrom. One su definisani krajnjim dometima  $D_{ON-1}$  i  $D_{ON-2}$ .
- T-1 i T-2 imaju orudja OR-1 i OR-2 koja mogu da pogode protivnika sa verovatnoćama  $p_{OR-1}$  i  $p_{OR-2}$  u funkciji od rastojanja. Prosečna vremena pripreme orudja za dejstvo su  $T_{OR-1}$  i  $T_{OR-2}$ , dometi  $D_{OR-1}$  i  $D_{OR-2}$ , brzine leta projektila do cilja  $V_{L-1}$  i  $V_{L-2}$  i veličine borbenih kompleta municije  $BK_1$  i  $BK_2$ .
- Sukob T-1 i T-2 počinje kada bar jedan od njih otkrije protivnika pomoću svoje osmatračko-nišanske sprave. Kada sukob jednom počne, više nema odustajanja do njegovog okončanja.
- Sukob prestaje kada se postigne prvi od pogodaka sa kritičnim učinkom, kada u procesu postepenog uništenja učinak pogotka postane kritičan ili kada oba orudja ostanu bez municije.

U opštem slučaju, kada je tenk T-2 pogodjen, verovatnoća da je pogodjena njegova manja (čeona ili zadnja) površina je data izrazom:

$$p_{1,3} = \frac{a|\cos \beta_2|}{a|\cos \beta_2| + b|\sin \beta_2|} \quad (19)$$

a verovatnoća da je pogodjena jedna od većih (bočnih) površina, izrazom:

$$p_{2,4} = \frac{b|\sin \beta_2|}{a|\cos \beta_2| + b|\sin \beta_2|} \quad (20)$$

gde su:  $a$  širina,  $b$  dužina paralelepipeda kojim se aproksimira tenk, a  $\beta_2$  ugao između pravca kretanja T-2 i nišanske linije koja ga spaja glavno orudje T-1 sa T-2.

Pogodak u tenk T-2 ne znači uvek i njegovo uništenje. U stvarnosti, pogodak u većini slučajeva prozrokuje samo izvestan stepen oštećenja T-2. Do uništenja dolazi ukoliko je pogodjen neki izuzetno osetljiv deo T-2, ili ako je on, usled prethodnih pogodaka, već u tolikoj meri oštećen da je posledica posmatranog pogotka dovoljna da ga trajno onespobiti za dalja borbena dejstva.

Za svaku vrstu tenka, kao i za svaku vrstu projektila kojim se on pogodi, postoji konačan, prebrojiv skup efekata tih pogodaka. Ovi efekti, mogu imati različit uticaj na postepeno uništenje tenka:

- neki od njih su kritični (efekti pogodaka u vitalne delove), jer odmah izazivaju potpuno uništenje tenka;
- drugi izazivaju određen stepen uništenja, koji se može kumulirati, tako da u kombinaciji sa efektima drugih pogodaka, na kraju mogu izazvati potpuno uništenje tenka;
- najzad, neki pogoci izazivaju više različitih (kombinovanih) efekata istovremeno.

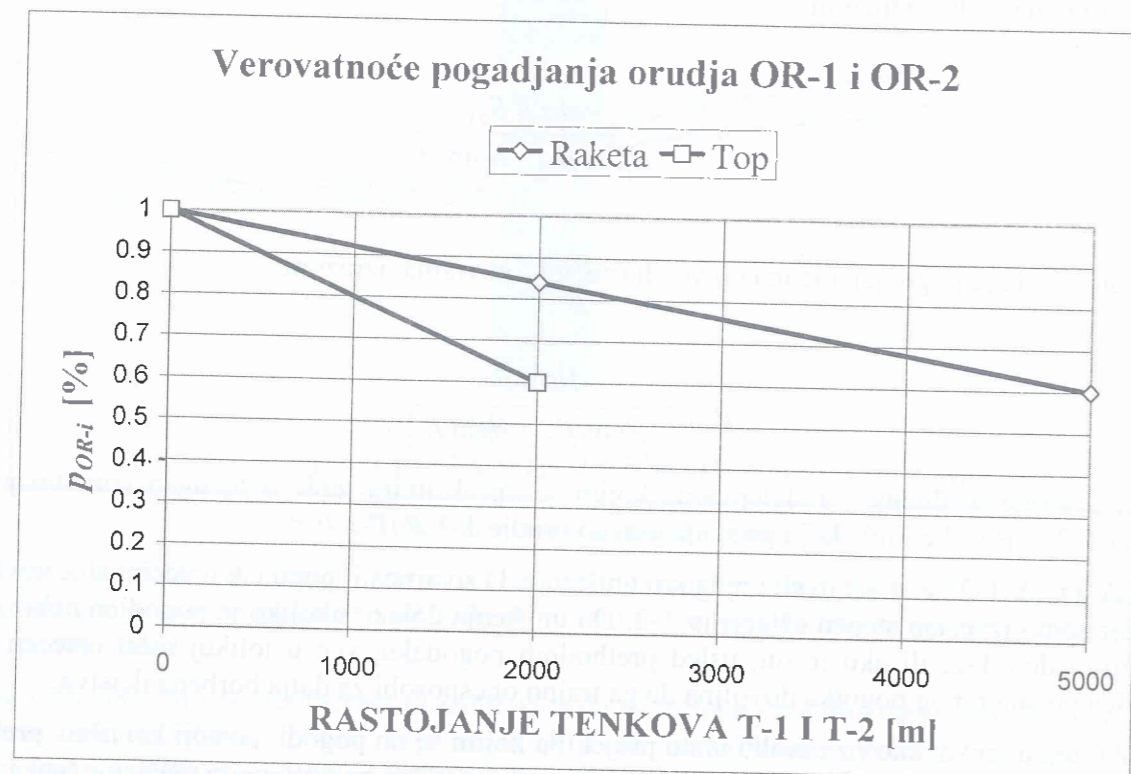
Svaki od mogućih efekata postignutog pogotka u svaku od izloženih površina tenka T-2 ima drugačiju vrednost verovatnoće. Ukupna verovatnoća realizacije jednog od efekata ( $E_k$ ) pogotka NMP-2 određena izrazom:

$$p_{E_k} = \frac{a|\cos \beta_2|p_{ki} + b|\sin \beta_2|p_{kj}}{a|\cos \beta_2| + b|\sin \beta_2|} \quad (21)$$

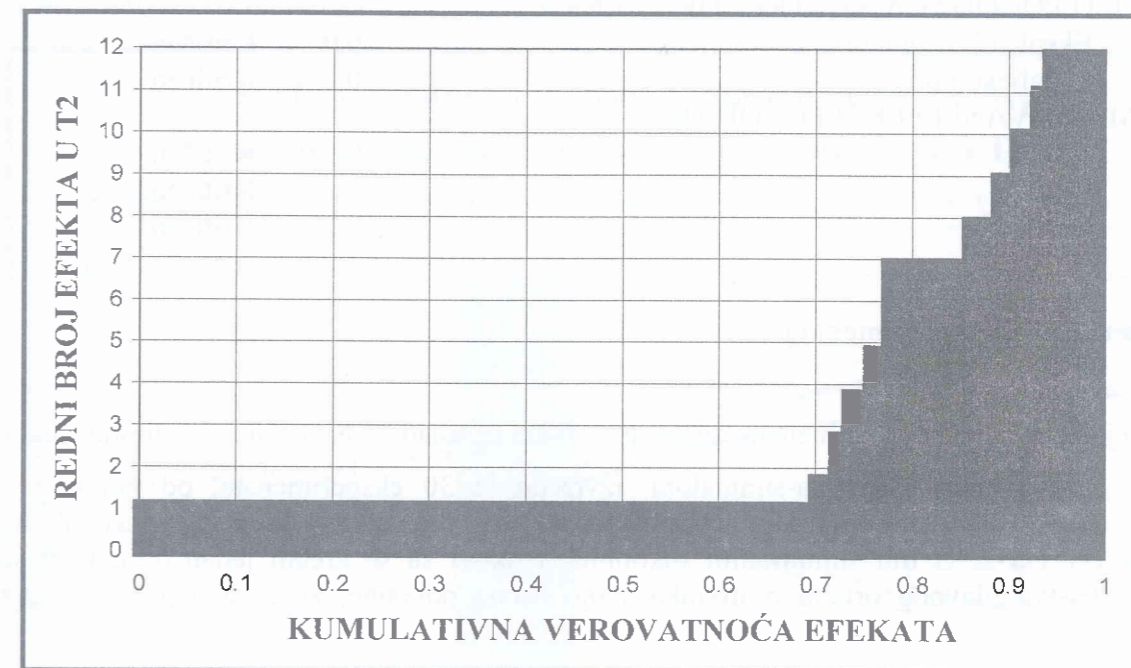
gde su:  $p_{ki}$  i  $p_{kj}$  verovatnoće realizacije efekta  $k$  na T-2 pogotkom u njegove površine  $i$  i  $j$  koje su izložene dejstvu glavnog orudja T-1. Njihove vrednosti se u simulatoru nalaze u tabeli verovatnoća efekata pogodaka, čiji je primer, za eksperimente čiji su rezultati opisani u ovom radu, dat u tabeli 7.5.

Simulacioni model sukoba T-1 i T-2 je diskretan i dinamički, orijentisan na događaje. Za implementaciju modela poslužio je jezik GPSS World. Tenkovi T-1 i T-2 se predstavljaju GPSS transakcijama, koje u svojim parametrima nose sve relevantne informacije (koordinate trenutnog položaja, brzine i sl.). Aktivnosti sistema se predstavljaju čistim vremenskim kašnjenjima.

Na slici 7.18, date su raspodele verovatnoća pogađanja protivničkog tenka glavnim orudjima OR-1 i OR-2 u njegovu izloženu (prednju) stranu, u funkciji od međusobnog rastojanja tenkova T-1 i T-2. Vidi se da protivoklopna vodjena raketa ima veću verovatnoću pogađanja i da je efikasna do 5000 m, za razliku od potkalibarnog probojnog projektila, koji ima efikasan domet do 2000 m.



Slika 7.18. Verovatnoće pogađanja u funkciji od rastojanja



Slika 7.19. Raspodela verovatnoća pogodaka

U ovom radu simuliraju se efekti pogodaka u tabeli 7.5. Za primarne efekte procenjene su verovatnoće za prednju stranu tenka ( $p_{PS}$ ), zato što je ona izložena u simuliranom sukobu.

Efekti pogodaka glavnim orudjem glavnim orudjem u prednju stranu protivničkog tenka simuliraju pomoću njihovih kumulativnih raspodela verovatnoća. Primer takve raspodele pojava efekata iz tabele 7.5, prikazan je na slici 7.19.

Tabela 7.5. Efekti pogodaka u prednju stranu tenka

| R.br.                                  | Opis efekta pogotka u prednju stranu tenka efekta | $p_{PS}$ [%] | Karakter efekta |
|--|---|--------------|-----------------|
| a) POGOCI BEZ EFEKATA                  |   |              |                 |
| 1                                      | Bez efekta, ili sa beznačajnim efektom            | 69,5         |                 |
| b) EFEKTI POGODAKA NA POSADU TENKA     |   |              |                 |
| 2                                      | Komandir izbačen iz stroja                        | 2,0          |                 |
| 3                                      | Nišandžija izbačen iz stroja                      | 1,5          |                 |
| 4                                      | Poslužilac izbačen iz stroja                      | 2,0          |                 |
| 5                                      | Vozač izbačen iz stroja                           | 2,0          | Kritičan        |
| c) EFEKTI POGODAKA NA POGON TENKA      |   |              |                 |
| 6                                      | Onesposobljen pogon                               | 0,0          | Kritičan        |
| 7                                      | Uništen hodni mehanizam                           | 8,0          | Kritičan        |
| 8                                      | Uništen mehanizam za pokretanje kupole            | 3,0          | Kritičan        |
| d) EFEKTI POGODAKA NA ORUDJA I SENZORE |   |              |                 |
| 9                                      | Uništena osmatračko-nišanska sprava komandira     | 2,0          |                 |
| 10                                     | Uništena osmatračko-nišanska sprava nišandžije    | 2,0          |                 |
| 11                                     | Uništena osmatračka sprava vozača                 | 1,5          |                 |

|                                       |                        |     |          |
|---------------------------------------|------------------------|-----|----------|
| 12                                    | Uništeno glavno orudje | 6,5 | Kritičan |
| e) EFEKTI POGODAKA NA LOGISTIKU TENKA |                        |     |          |
| 13                                    | Eksplozija municije    | 0,0 | Kritičan |
| 14                                    | Zapaljeno gorivo       | 0,0 | Kritičan |
| f) KOMBINOVANI EFEKTI POGODAKA        |                        |     |          |
| 15                                    | 1+2+3                  | -   | Kritičan |
| 16                                    | 9+10                   | -   | Kritičan |
| 17                                    | 9+10+11                | -   | Kritičan |

### Analiza rezultata eksperimenata

Ukupno je izvršeno 30 eksperimenata, od kojih se svaki sastojao od  $N=10000$  simuliranih sukoba.

Pomoću realizovanog programa-simulatora, izvršeno je 30 eksperimenata, od kojih se svaki sastojao od  $N=10000$  simuliranih sukoba, dakle simulirano je ukupno 30000 iznenadnih sukoba tenkova T-1 i T-2. U tim simuliranim sukobima, tenkovi su se kretali jedan drugom u susret, izlažući dejstvu glavnog orudja protivnika svoje čeone površine, koje su najmanje i najbolje zaštićene.

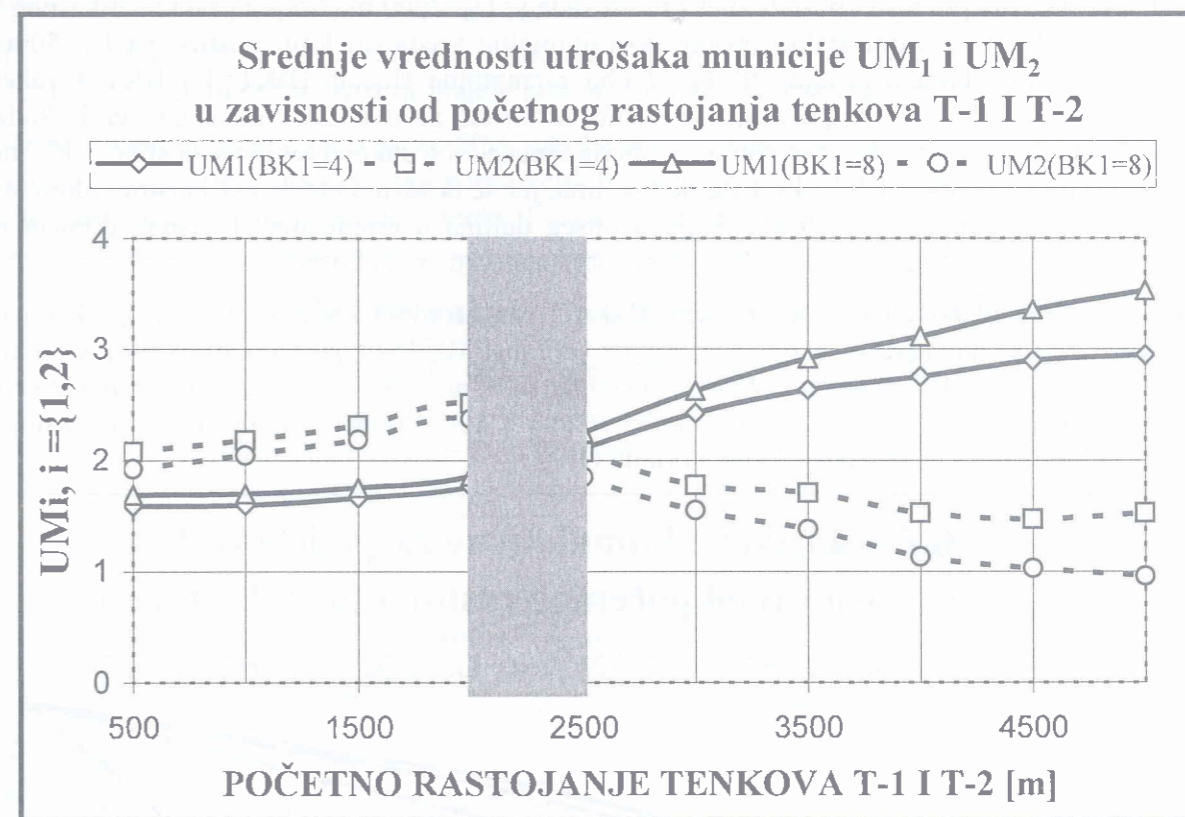
Faktori eksperimenata bili su:

- Početno rastojanje tenkova,  $D_0 = \{500, 1000, 1500, 2000, \dots, 5000\}$  [m];
- Borbeni komplet orudja OR-1,  $BK-1 = \{4, 8, 16\}$ .

U radu (Janković R., 2003c), analiziran je učinak dejstva glavnog orudja po protivničkom tenku, u zavisnosti od početnog rastojanja u sukobu i veličine borbenog kompleta BK1 (broja protivoklopnih vodjenih raketa kojim raspolaže posada tenka T-1). Jedan od zaključaka bio je da postoje razlike u rezultatima kada se BK1 poveća sa 4 na 8 raketa, dok se njegovim daljim povećanjem na 16 raketa ne dobija nikakvo poboljšanje. Zato se ovde razmatraju rezultati samo onih eksperimenata u kojima je vrednost veličine borbenog kompleta BK1 bila 4 i 8 raketa. Dakle, analiziraju se utrošci municije uz sukobu tenkova iz borbenih kompleta glavnih orudja OR-1 ( $UM_1$ , broj utrošenih protivoklopnih vodjenih raketa) i OR-2 ( $UM_2$ , broj utrošenih potkalibarnih probojnih projektila). Rezultati eksperimenata prikazani su na slikama 20, 21, 22, 23 i 24. Razmatraju se:

- srednje vrednosti utrošaka municije  $UM_1$  i  $UM_2$  u zavisnosti od početnog rastojanja ( $D_0$ ) tenkova u sukobu T-1 i T-2, za vrednosti  $BK1 \in \{4, 8\}$  raketa;
- kumulativne raspodele utroška municije  $UM_1$ , za vrednosti  $BK1 \in \{4, 8\}$  raketa i  $D_0 \in \{500, 2000, 2500, 5000\}$  metara;

- kumulativne raspodele utroška municije  $UM_2$ , za vrednosti  $BK1 \in \{4, 8\}$  raketa i  $D_0 \in \{500, 2000, 2500, 5000\}$  metara;



Slika 7.20. Srednje vrednosti utrošaka municije u zavisnosti od početnog rastojanja tenkova

Na slici 7.20 prikazane su srednje vrednosti utrošaka municije  $UM_1$  i  $UM_2$ , u zavisnosti od početnog rastojanja tenkova T-1 i T-2 u iznenadnom sukobu i veličine borbenog kompleta BK1 koja u ovom razmatranju može imati vrednosti 4 ili 8 protivoklopnih vodjenih raketa. Imajući u vidu rezultate prikazane na slici 7.17, skup početnih rastojanja  $D_0 \in \{500, 2000, 2500, 5000\}$  metara sadrži one vrednosti početnih rastojanja tenkova u sukobu koje omedjavaju tri karakteristične zone:

- zonu dominacije T-2, naoružanog topom sa potkalibarnim probojnim projektilima, od 500m do 2000m;
- zonu promene, od 2000m do 2500m i
- zonu dominacije T-1, naoružanog protivoklopnim vodjenim raketama, od 2500 do 5000m.

Na slici 7.20 se može uočiti da se srednje vrednosti  $UM_1$  i  $UM_2$ , u slučajevima kada je  $BK1=4$ , odnosno  $BK1=8$  raketa, menjaju po sličnim zakonitostima, s tim što su razlike izraženije kada tenk T-1 raspolaže većim brojem raketa ( $BK1=8$ ). Srednje vrednosti utrošaka municije  $UM_1$  i  $UM_2$  na karakterističnim početnim rastojanjima tenkova T-1 i T-2 u iznenadnom sukobu date su u tabeli 7.6.

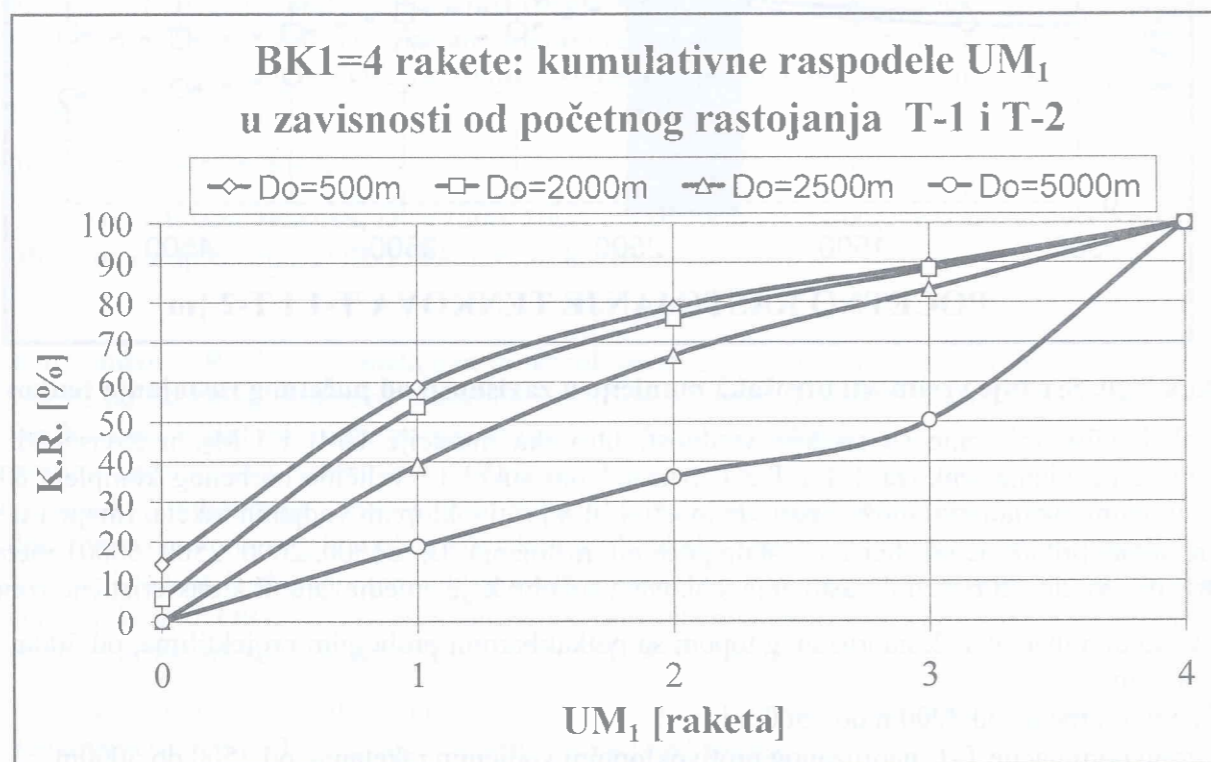
Tabela 7.6. Srednje vrednosti utrošaka municije  $UM_1$  i  $UM_2$

| Do [m] | BK1=4 rakete |        | BK1=8 raketa |        |
|--------|--------------|--------|--------------|--------|
|        | $UM_1$       | $UM_2$ | $UM_1$       | $UM_2$ |
| 500    | 1,589        | 2,079  | 1,689        | 1,926  |
| 2000   | 1,764        | 2,512  | 1,859        | 2,375  |
| 2500   | 2,108        | 2,076  | 2,252        | 1,853  |
| 5000   | 2,948        | 1,528  | 3,529        | 0,957  |



Vidi se da srednja vrednost utroška protivoklopnih vodjenih raketa ( $UM_1$ ) stalno raste sa povećanjem početnog rastojanja tenkova  $D_0$ , dok srednja vrednost utroška potkalibarnih probojnih projektila ( $UM_2$ ), najpre raste, postiže maksimum kada je  $D_0=2000$  m (što je i granica efikasnog dometa orudja OR-2), a zatim stalno opada, do minimalne vrednosti koju postiže na  $D_0=5000$  m (granica efikasnog dometa orudja OR-1). U oba razmatrana slučaja ( $BK1=4$  i  $BK1=8$  raketa), srednje vrednosti  $UM_1$  i  $UM_2$  ponašaju se slično, s tim što su ove zakonitosti izraženije kada je  $BK1=8$  raketa. Imajući u vidu i verovatnoće ishoda iznenadnog sukoba tenkova sa slike 7.17, može se zaključiti da je vrednost  $BK1=4$  rakete nedovoljna, jer se dešava da tenk T-1 lansira redom sve 4 rakete i promaši tenk T-2 koji, kada dodje u opseg daljina u granicama efikasnog dometa potkalibarnih probojnih projektila, tada rešava iznenadni sukob u svoju korist.

Sa druge strane, od početka zone promene ( $D_0=2000$ m), srednja vrednost utroška potkalibarnih projektila  $UM_2$  stalno opada. S obzirom da je vrednost  $BK2=45$  potkalibarnih projektila uvek dovoljna, može se zaključiti da sa porastom početnog rastojanja  $D_0$ , tenk T-2 ima sve manje prilike da ispali svoje projekte, jer se većina sukoba rešava u korist tenka T-1, pre nego što rastojanje tenkova dodje u granice efikasnog dometa orudja OR-2.



Slika 7.21. Kumulativne raspodele utroška raketa za slučaj  $BK1 = 4$  rakete

Na slici 7.21 prikazane su kumulativne raspodele (K.R.) utroška municije  $UM_1$  (protivoklopne vodjene rakete), za vrednost  $BK1=4$  rakete, u zavisnosti početnog rastojanja tenkova T-1 i T-2 u iznenadnom sukobu.

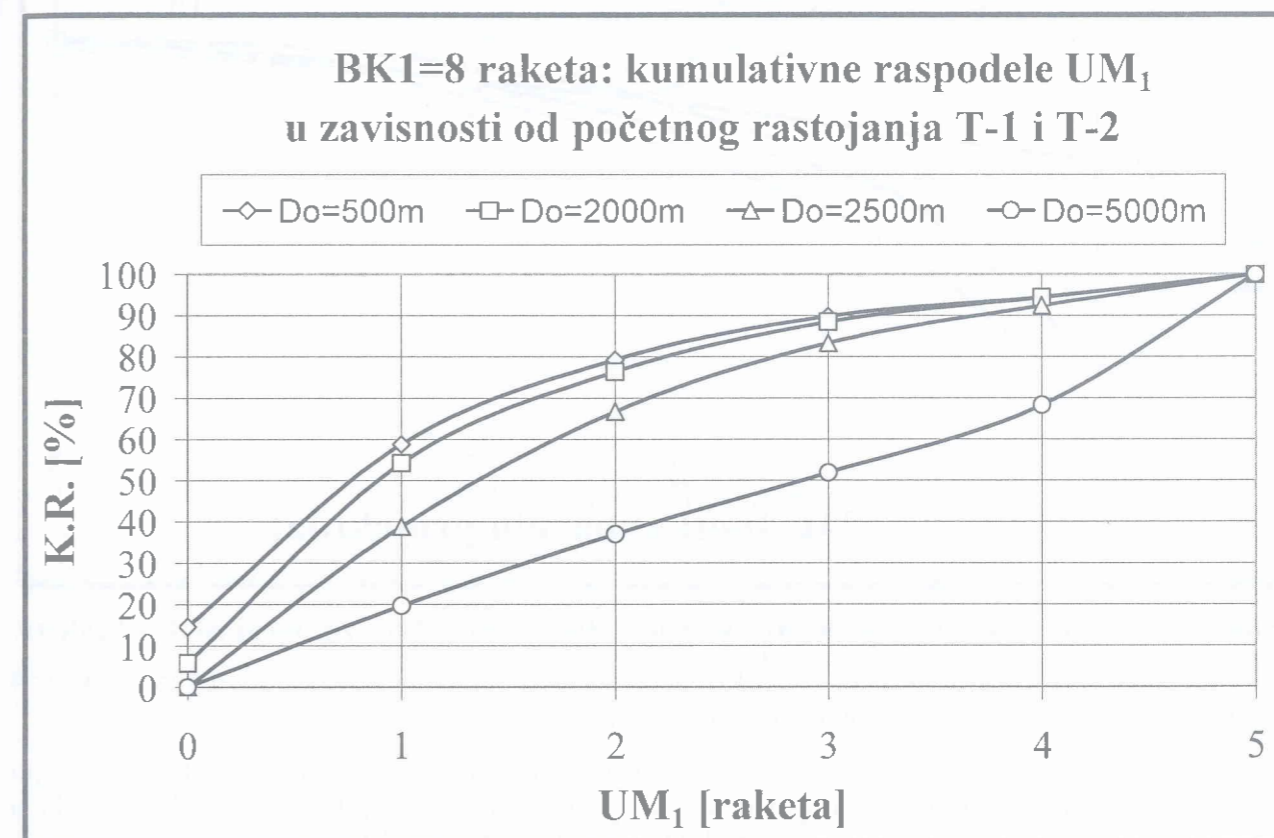
Na početnom rastojanju  $D_0=500$ m u 14,43% sukoba, T-1 ne uspeva da lansira raketu koja će uspešno da doleti do T-2. Kumulativna kriva raspodele  $UM_1$  posle toga naglo poraste za  $UM_1=1$  (58,67%), a zatim se umereno povećava za  $UM_1 = 2, 3$  i 4, kada dostiže vrednost 100%.

Na  $D_0=2000$  m, procenat sukoba u kojima nije bilo uspešnog lansiranja rakete je znatno manji (5,77%), zato što je vrednost  $D_0=2000$ m već tolika da počinje da se povećava uticaj sporijih, ali preciznijih raketa na ishod sukoba. Kumulativna kriva raspodele  $UM_1$  opet naglo poraste za  $UM_1=1$  (53,75%), a zatim umereno raste za  $UM_1 = 2, 3$  i 4, kada dostiže 100%.

Za  $D_0=2500$ m, više nema sukoba u kojima T-1 nije uspeo da lansira raketu koja je doletela do cilja. Skok kumulativne krive raspodele za  $UM_1=1$  je znatno manji (39,32%), a zatim još sporije raste do 100%.

Najzad, za  $D_0=5000$ m, nema sukoba u kojima T-1 nije uspeo da uspešno lansira raketu, a za  $UM_1=1, 2$  i 3, kumulativna kriva raspodele raste sporo i gotovo linearno do 50%.

Može se zaključiti da je  $UM_1$  u skoro 50% sukoba imao vrednost 4, što znači da je vrednost  $BK1=4$  rakete nedovoljna, jer se dešava da i pored velikih početnih rastojanja T-1 lansira sve 4 raspoložive rakete i promaši, što daje mogućnost tenku T-2 da pobeđi u sukobu.

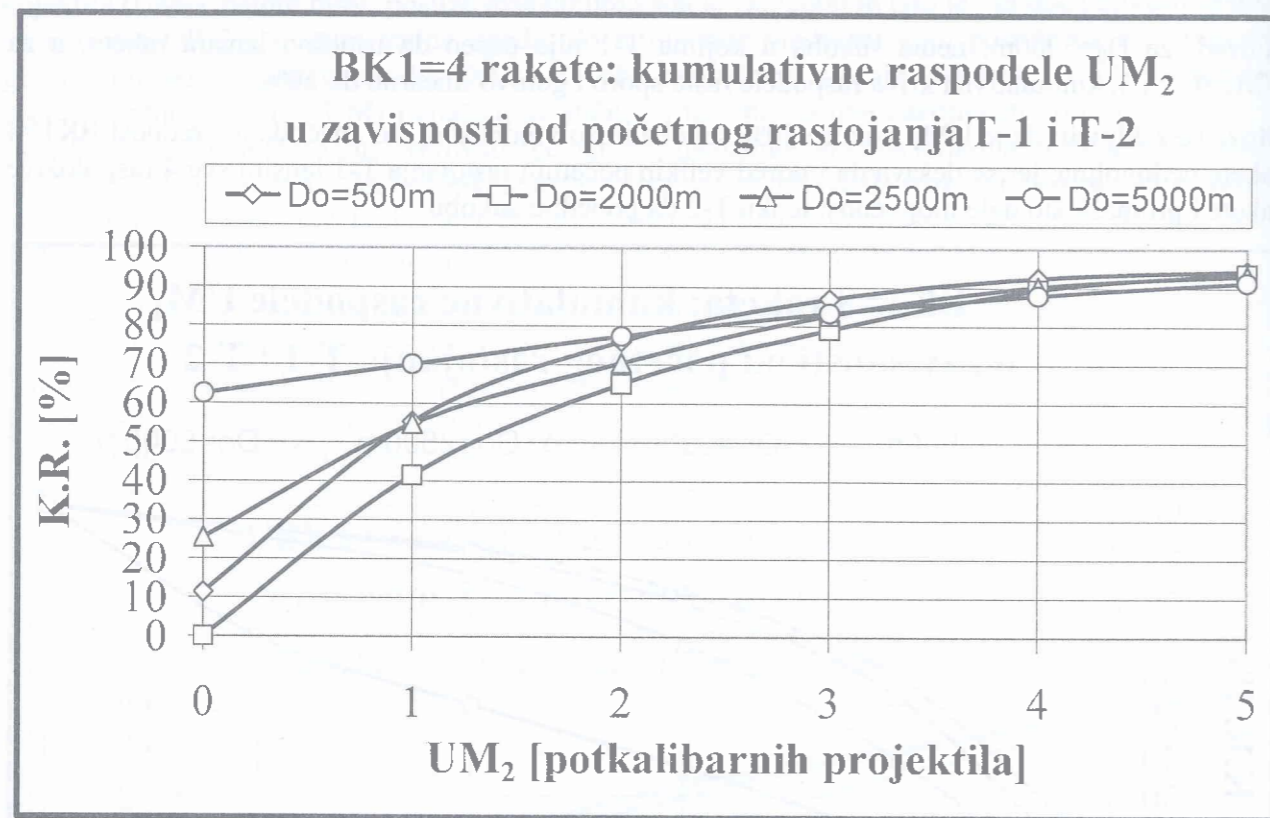


Slika 7.22. Kumulativne raspodele utroška raketa za slučaj  $BK1 = 8$  raketa

Na slici 7.22 prikazane su kumulativne raspodele utroška municije  $UM_1$ , za vrednost  $BK1=8$  raketa, u zavisnosti početnog rastojanja tenkova T-1 i T-2 u iznenadnom sukobu. Uočava se da, bez obzira na ishod, nije bilo sukoba u kome bi T-1 utrošio više od 5 raketa.

Za početna rastojanja  $D_0=500$ m, 2000m i 2500m, kumulativne krive raspodele  $UM_1$  se ponašaju slično kao i u prethodnim slučajevima, s tim što imaju neznatno brži porast.

Za  $D_0=5000\text{m}$ , za  $UM_1=1, 2, 3$  i  $4$ , kumulativna kriva raspodele raste sporo i gotovo linearno do 70%. U preostalih 30% sukoba, T-1 je utrošio 5 raketa.



**Slika 7.23. Kumulativne raspodele utroška potkalibarnih projektila za slučaj BK1 = 4 rakete**

Na slici 7.23 prikazane su kumulativne raspodele utroška municije  $UM_2$ , za vrednost  $BK1=4$  rakete, u zavisnosti početnog rastojanja tenkova T-1 i T-2.

Na početnom rastojanju  $D_0=500\text{m}$ , u 11,34% sukoba T-2 ne uspeva da ispali potkalibarni probojni projektil na T-1. Kumulativna kriva raspodele  $UM_2$  posle toga naglo poraste za  $UM_2=1$  (55,28%), a zatim raste sa postepenim zasićenjem sve do  $UM_2=5$ , kada dostiže 94,39%.

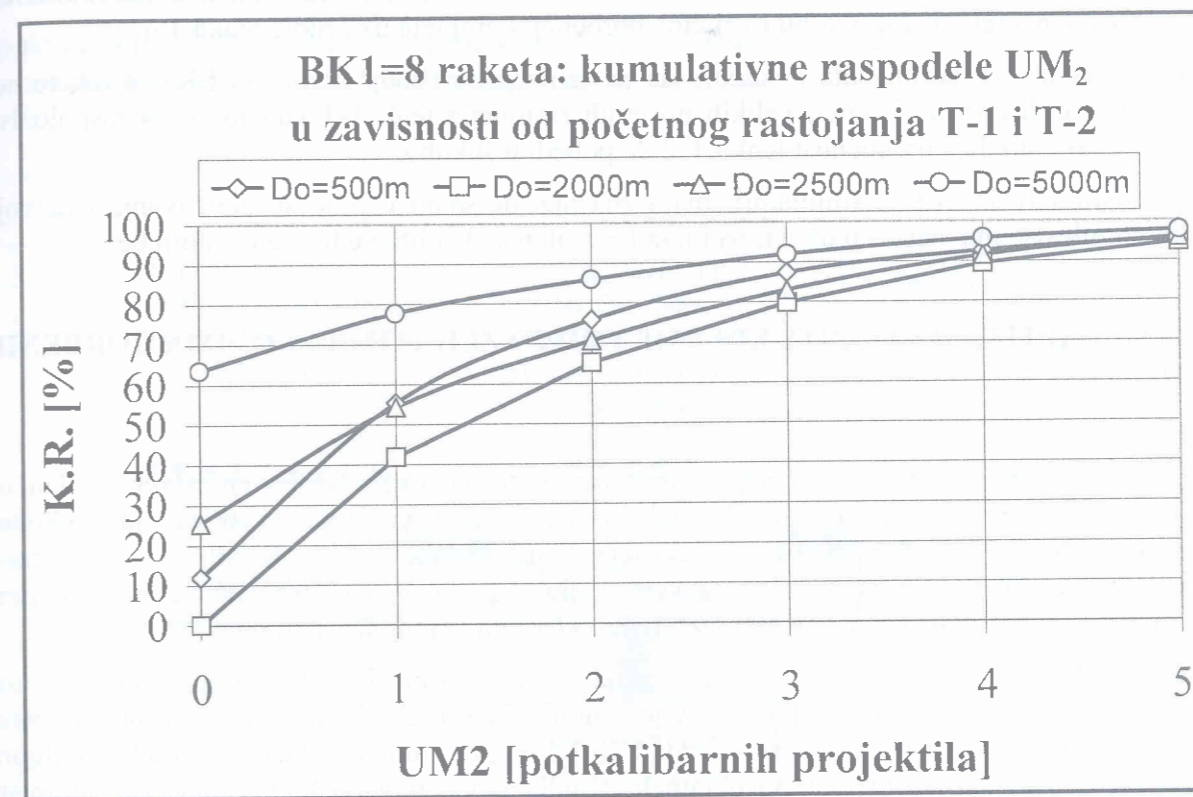
Na slici 7.23, kao i na slici 7.24, prikazani su samo prvi delovi grafika kumulativnih raspodela  $UM_2$ , do vrednosti  $UM_2=5$ , zato što je u svim razmatranim slučajevima, u preko 90% simuliranih sukoba, utrošak  $UM_2$  bio 5 projektila.

U izvršenim eksperimentima, bilo je još 2 do 8% sukoba u kojima je T-2 utrošio više od 5 projektila.

Na početnom rastojanju  $D_0=2000\text{m}$ , nije bilo sukoba u kome T-2 ne bi uspeo da ispali projektil na T-1. Kumulativna kriva raspodele za  $UM_2=1, 2, 3, 4$  i  $5$  umereno raste, od 41,53% do 93,64%.

Na početnom rastojanju  $D_0=2500\text{m}$ , u 25,48% sukoba tenk T-2 nije stigao da ispali projektil na T-1, zato što je to početno rastojanje već van efikasnog dometa njegovog orudja OR-2.

Ovo se drastično ispoljava na početnom rastojanju  $D_0=5000\text{m}$ , kada u 62,5% sukoba T-2 nije uspeo da ispali nijedan projektil na T-1. Kumulativna kriva raspodele  $UM_2$ , u preostalih 37,5% sukoba sporo linearno raste, a za  $UM_2=5$  iznosi 91,45%.



**Slika 7.24. Kumulativne raspodele utroška potkalibarnih projektila za slučaj BK1 = 8 raketa**

Na slici 7.24 prikazane su kumulativne raspodele utroška municije  $UM_2$ , za vrednost  $BK1=8$  raketa, u zavisnosti početnog rastojanja tenkova T-1 i T-2. Vidi se da se krive kumulativnih raspodela  $UM_2$  za  $D_0=500\text{m}$ ,  $2000\text{m}$  i  $2500\text{m}$  ponašaju gotovo identično kao one odgovarajuće na slici 7.23.

Medjutim, za  $D_0=5000\text{m}$ , u 63,51% sukoba tenk T-2 nije uspeo da ispali nijedan projektil na T-1. Kumulativna kriva raspodele  $UM_2$ , u preostalih 36,49% sukoba sporo nelinearno raste, a za  $UM_2=5$  iznosi 97,62%.

Vidi se da je manje sukoba u kome je T-2 uspeo da ispali više projektila. To znači da je, zbog početnog rastojanja  $D_0$  koje je znatno veće od efikasnog dometa OR-2 i zbog većeg borbenog kompleta BK1 na raspolaganju u tenku T-1, bilo više sukoba u kojima je tenk T-2 uništen pre nego što je mogao više puta da dejstvuje svojim orudjem OR-2.

### Zaključak

Razvijen je simulacioni model sa mehanizmom postepenog uništavanja pogodjenog tenka, što utiče na rezultate simulacije trajanja i ishoda sukoba tenkova T-1 i T-2. Model je implementiran pomoću specijalizovanog simulacionog jezika GPSS World.

Na početnim rastojanjima do  $2000\text{m}$ , prednost ima tenk T-2 naoružan topom sa potkalibarnim probojnim projektilima, a na rastojanjima od  $2500\text{m}$  do  $5000\text{m}$  tenk T-1 naoružan protivoklopnim vodjenim raketama. Razlike su izraženije kada se borbeni komplet BK1 (broj protivoklopnih vodjenih raketa) tenka T-1 poveća sa 4 na 8 raketa, što je u razmatranim slučajevima i najbolja vrednost.

Analizirani troškovi municije  $UM_1$  i  $UM_2$  glavnih orudja tenkova T-1 i T-2, respektivno. Razmatrane su srednje vrednosti i kumulativne raspodele utroška municije za oba orudja, u zavisnosti od početnog rastojanja tenkova u sukobu i veličine borbenog kompleta uz orudje tenka T-1.

Rezultati izvršenih eksperimenata pokazuju da je veličina borbenog kompleta BK1=4 rakete nedovoljna, jer se dešava da i pored velikih početnih rastojanja tenk T-1 lansira sve 4 raspoložive rakete i promaši, što daje mogućnost tenku T-2 da pobeđi u sukobu.

Može se zaključiti da ovakvi simulatori imaju značaja, ne samo u procesu istraživanja i razvoja složenih vojnih sistema, nego i u obuci, pa i izradi novih načela njihove borbene upotrebe.

## 7.8 SIMULACIJA PONAŠANJA KIS NMP POD RAZLIČITIM USLOVIMA BORBENIH DEJSTAVA

Komandno-informacioni sistem naoružane mobilne platforme (KIS NMP) predstavlja jedan od najvažnijih pod sistema naoružane mobilne platforme, jer ima značajan uticaj na njene ukupne performanse. Cilj izrade simulacionog modela KIS NMP je da se, eksperimentima sa razvijenim simulatorom, istraži taj uticaj i donesu adekvatne odluke o organizacionim i tehničkim rešenjima komandno-informacionog sistema NMP, njegovih pod sistema i pojedinih komponenta.

U ovom odeljku su najpre opisane opšta koncepcija i osnovne funkcije KIS NMP. Zatim se iznose polazne pretpostavke, na osnovu kojih je razvijen simulacioni model KIS NMP. Sam model opisan je pomoću vremensko-prostorne predstave rada KIS NMP, strukture simulacionog modela i algoritamskog opisa. Posebno su razmatrani parametri simulacionog modela koji se dele na parametre okoline KIS NMP, njegove sistemske parametre i parametre izvršnih organa – orudja i ometača naoružane mobilne platforme. Definisane su i primarne i sekundarne mere performansi KIS NMP. Na kraju je data i kratka analiza rezultata karakterističnih eksperimenata izvršenih pomoću programa-simulatora, implementiranog pomoću simulacionog jezika GPSS [3], sa ciljem sagledavanja uticaja KIS NMP na performanse naoružane mobilne platforme.

### Koncepcija i osnovne funkcije KIS NMP

Opšta koncepcija KIS NMP (Janković R., 2001a), zajedno sa posadom i okolinom, prikazana je na slici 7.25. Okolinu KIS NMP predstavljaju ambijent u kome se kreće i dejstvuje NMP, neprijateljske snage, sadejstvujuće snage, posada NMP i orudja i drugi izvršni organi u sastavu NMP.

U informacionom pogledu, uticaj ambijenta, kao i neprijatelja na KIS NMP ogleda se u vrsti i količini podataka koji preko senzora ulaze u KIS NMP.

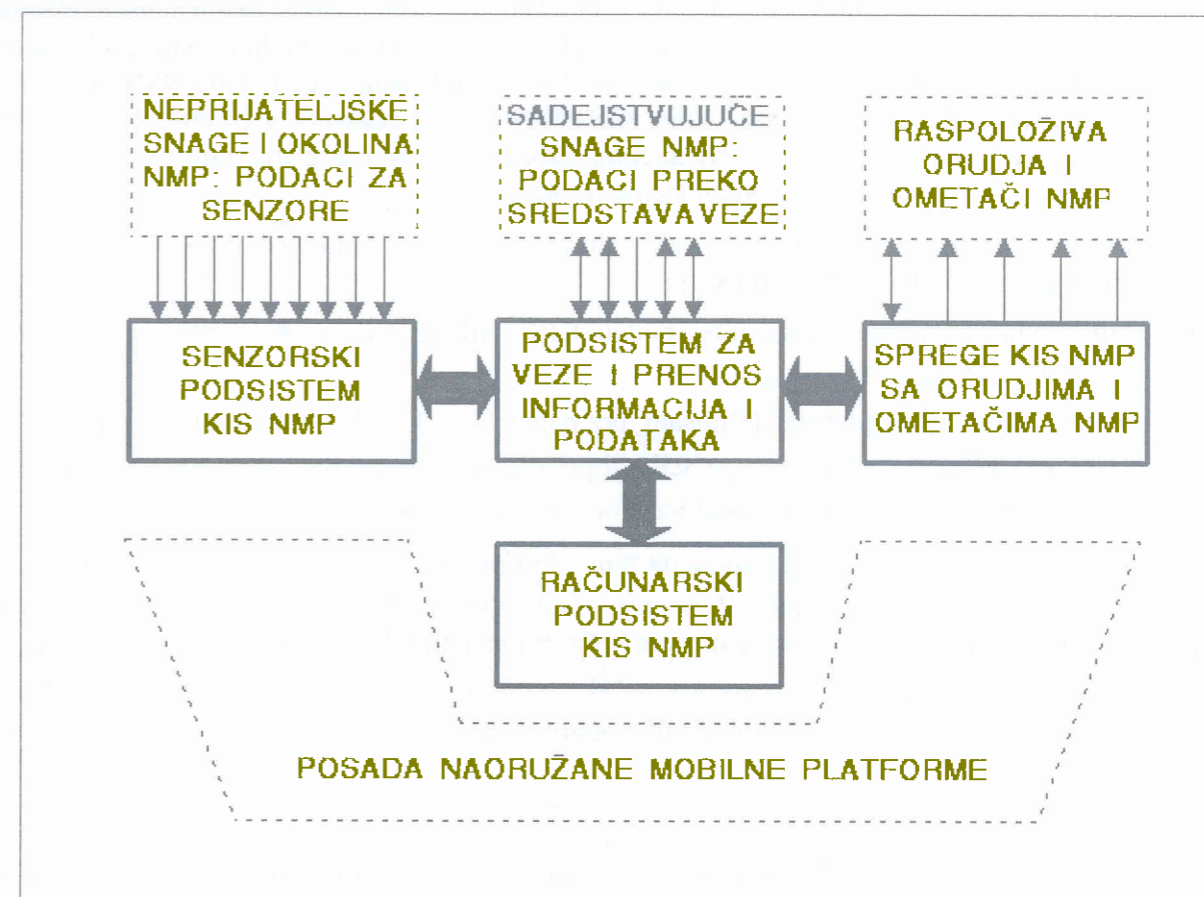
Slično utiču i sadejstvujuće (prijateljske) snage: podaci koji od njih dolaze u KIS NMP, ili ka njima odlaze iz KIS NMP, predstavljaju opterećenje, kako zahtevima za ulazom/izlazom preko sredstava veze KIS NMP, tako i u pogledu naprežanja ostalih delova sistema u vezi sa njihovom obradom, prikazivanjem, procenom i donošenjem odluka od strane posade NMP.

Najzad, i sama orudja NMP predstavljaju okolinu, odnosno svojevrsnog krajnjeg korisnika usluga KIS NMP.

Posada NMP procenjuje situaciju, donosi odluke i upravlja sa NMP u celini, njenim pod sistemima i pojedinim delovima. Ona je deo okoline, ali u funkcionalnom smislu i nerazdvojiva od KIS NMP, naročito tamo gde bitno utiče na performanse sistema kada on radi u realnom vremenu. Zato je

neophodno u simulacioni model na odgovarajući način uključiti i reakcije ljudske posade, sa svim njenim prednostima i ograničenjima.

Struktura KIS NMP obuhvata: senzorski pod sistem, računarski pod sistem, pod sistem za veze i prenos podataka i sprege KIS NMP sa raspoloživim orudjima.



Slika 7.25. Opšta koncepcija KIS NMP

Senzorski pod sistem obuhvata uglavnom radare, kamere i druge optoelektronske senzore, kao i različite senzore koji se koriste za prikupljanje informacija bitnih za upravljanje kretanjem NMP.

Računarski pod sistem obuhvata sve računare koji su integrisani u KIS NMP. Njihov broj i organizacija zavisi od veličine i složenosti same NMP. Organizovani su hijerarhijski, tako da se na računarima u gornjim slojevima obavljaju funkcije računarske podrške KIS NMP u celini, odnosno njegovih glavnih pod sistema, dok se funkcije informacione podrške izvršnih organa (na primer sistemi za upravljanje vatrom orudja NMP) obavljaju u najnižim hijerarhijskim slojevima.

Pod sistem za veze i prenos informacija i podataka u KIS NMP ima dvostruku ulogu.

Najpre, on obezbeđuje, putem odgovarajućih sredstava veze, povezivanje KIS NMP sa okolinom, odnosno drugim informacionim sistemima sadejstvujućih - prijateljskih snaga i/ili njihovih senzora.

Sa druge strane, ovaj pod sistem obezbeđuje medjusobno povezivanje svih pod sistema i delova unutar samog KIS NMP i njegovo funkcionisanje kao celine.

Sprege za orudja služe za njihovo povezivanje sa KIS NMP. Broj i vrsta ovih sprega zavise od samih orudja, njihove konstrukcije i nivoa opremljenosti. Orudja mogu biti sa ljudskom posadom ili automatska, što određuje i samu realizaciju sprega.

Osnovne funkcije KIS NMP su da informaciono podrži komandovanje NMP u upravljanju njenim kretanjem, vatrenom dejstvu po ciljevima/pretnjama i logistici.

Od svih ovih delatnosti, najzahtevnija funkcija KIS NMP je vatreno dejstvo po neprijateljskim ciljevima pretnjama i to iz dva razloga. Prvo, to je delatnost u kome se obavljaju najvažniji zadaci NMP u izvođenju borbenih dejstava, kako u napadu, tako i u odbrani, kada i sama NMP može biti ugrožena protivničkim dejstvima. Drugo, tada KIS NMP radi u realnom vremenu, {to naročito dolazi do izražaja u protivvazdušnoj i protivraketoj odbrani koje se inače smatraju i situacijama u kojima je NMP najviše izložena riziku od uništenja ili oštećenja.

Zato će u ovom odeljku biti razmatrani aspekti simulacionog modeliranja KIS NMP ograničeni samo na ovu grupu njegovih osnovnih funkcija.

Polazne pretpostavke za izradu simulacionog modela KIS NMP su sledeće:

a) Na NMP napadaju ciljevi/pretnje definisani brzinama ( $V_{c/p}$ ) i ekvivalentnim površinama za detekciju od strane senzora NMP ( $S_{c/p}$ ). Ciljevi/pretnje su svi usmereni ka NMP (detektovanoj sa njihove strane) i predstavljaju opasnost jer mogu da unište NMP.

b) NMP raspolaže orudjem (OR) koje može da uništi cilj/pretnju sa verovatnoćom uništenja  $p_{OR}$  i ometačem (OM) koji može da ometa cilj/pretnju i tako je spreči da uništi NMP, sa verovatnoćom uspešnog ometanja  $p_{OM}$ . Orudje je definisano krajnjim i minimalnim dometom vatrene dejstva po cilju/pretnji ( $D_{ORmax}$  i  $D_{ORmin}$ ), a ometač ima maksimalni domet ometanja ( $D_{OMmax}$ ) dok je njegov minimalni domet praktično nula, odnosno može da ometa cilj/pretnju i na položaju same NMP.

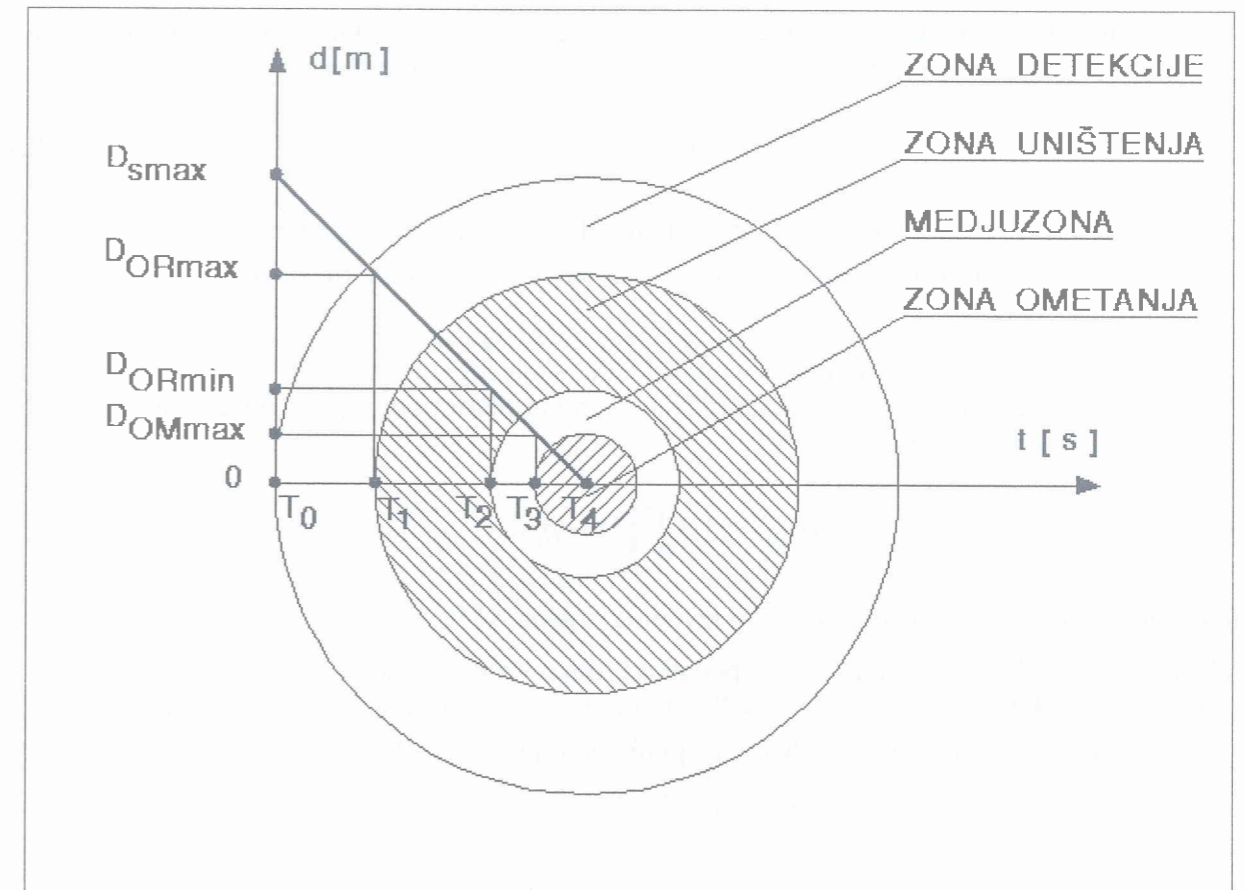
c) KIS NMP obuhvata sledeće elemente:

- Senzor (S) - osmatračko-akvizicioni radar, definisan periodom obrtanja antene ( $T_s$ ) koja je istovremeno i perioda znavljanja informacija o cilju/pretnji (C/P) i krajnjim dometom ( $D_{smax}$ ) na kome je verovatnoća detekcije ( $p_d$ ) u funkciji od ekvivalentne površine cilja/pretnje ( $S_{c/p}$ ) jednaka 0,5;
- Operator (OP): član posade (komandant NMP) koji procenjuje situaciju na elektronskoj radnoj karti računara, donosi odluku i prosledjuje odgovarajuću poruku - naredjenje ka izvršnim organima - orudjima ili ometačima.
- Računar (R), koji generiše i ažurira elektronsku radnu kartu, vrši fuziju podataka koje dobija od senzora, prikazuje situaciju i zone dejstva orudja i ometača, omogućava komunikaciju operatora sa svim delovima KIS NMP, orudjima i ometačima i svojim aplikativnim softverom ostvaruje funkcije zahvata i praćenja ciljeva/pretnji, generisanje različitih izveštaja i formiranje i predaju poruka.

## Simulacioni model KIS NMP

KIS NMP je diskretan dinamički sistem u kome se različite aktivnosti predstavljaju čistim vremenskim kašnjenjima. U modelu se kreću ciljevi/pretnje (C/P) koji prouzrokuju zahteve za pojedinim resursima KIS NMP, u cilju informacione podrške komandovanja i upravljanja NMP, njenim podsistemima i delovima.

Uprošćena vremensko/prostorna predstava rada KIS NMP prikazana je na slici 7.26.



Slika 7.26. Vremensko-postorna predstava rada

Karakteristični vremenski trenuci koji zavise samo od osobina cilja/pretnje ( $S_{c/p}$  i  $V_{c/p}$ ) su:

- $T_0$  pojava novog C/P na krajnjem dometu senzora S;
- $T_1$  pristizanje C/P na krajnji domet orudja OR;
- $T_2$  prolazak cilja/pretnje kroz minimalni domet orudja OR;
- $T_3$  pristizanje C/P na krajnji domet ometača OM;
- $T_4$  pristizanje C/P na trenutni položaj NMP.

Prostor oko NMP je podeljen na sledeće zone:

- zonu detekcije cilja/pretnje, od  $D_{smax}$  do  $D_{ORrmax}$ , kroz koju se C/P kreće od  $T_0$  do  $T_1$ ;
- zonu uništenja, od  $D_{ORrmax}$  do  $D_{ORmin}$ , kroz koju se C/P kreće od  $T_1$  do  $T_2$ ;
- međuzonu, od  $D_{ORmin}$  do  $D_{OMmax}$ , kroz koju se C/P kreće od  $T_2$  do  $T_3$  i
- zonu ometanja, kroz koju se C/P kreće od  $T_3$  do  $T_4$ , odnosno do pristizanja na položaj NMP.

NMP deluje protiv C/P tako što najpre pokušava da ga uništi orudjem, a ako to ne uspe, onda ga ometa ometačem. Uspešnim se smatra povoljan ishod bar jedne od ove dve akcije.

U idealnom slučaju, kada i orudje i ometač pravovremeno raspolažu svim potrebnim podacima i rade bez zastoja, verovatnoća uspeha dejstva NMP ( $p_{NMP}$ ) definisana je sledećim izrazom:

$$p_{NMP} = 1 - (1 - p_{OR})(1 - p_{OM}) \quad (22)$$

gde su:

- $p_{OR}$  verovatnoća uništenja C/P orudjem OR naoružane mobilne platforme  
 $p_{OM}$  verovatnoća uspešnog ometanja C/P ometačem OM naoružane mobilne platforme.

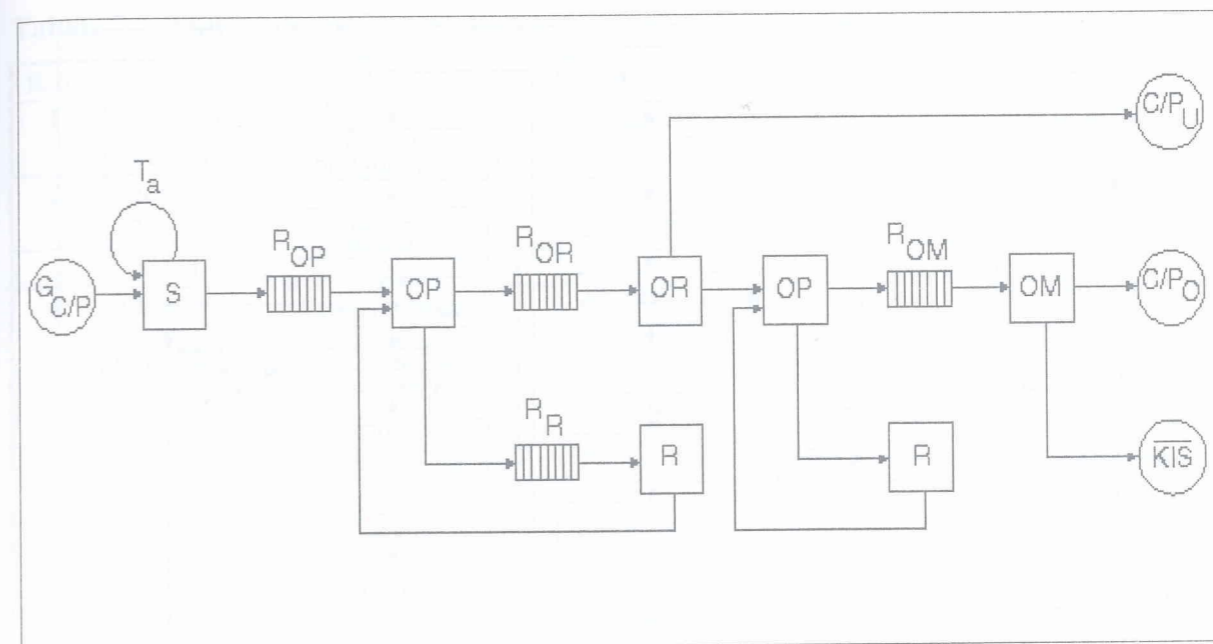
Izraz (22) je poseban slučaj, razmatran u ovom odeljku, sledećeg opštijeg izraza koji daje teoretsku vrednost verovatnoće uspešnog dejstva naoružane mobilne platforme koja raspolaže sa ukupno N izvršnih organa (orudja i ometača):

$$p_{NMP} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - p_i) \quad (23)$$

gde je  $p_i$  verovatnoća uspešnog dejstva i-tog izvršnog organa NMP.

KIS NMP treba da obezbedi sve potrebne podatke i, obzirom da se radi o nesavršenosti, kako svih njegovih delova tako i same posade NMP, on može samo da smanji verovatnoću  $p_{NMP}$ . Cilj simulacije je da se odredi uticaj KIS NMP na ispunjenje funkcija NMP.

Struktura simulacionog modela prikazana je na slici 7.27.

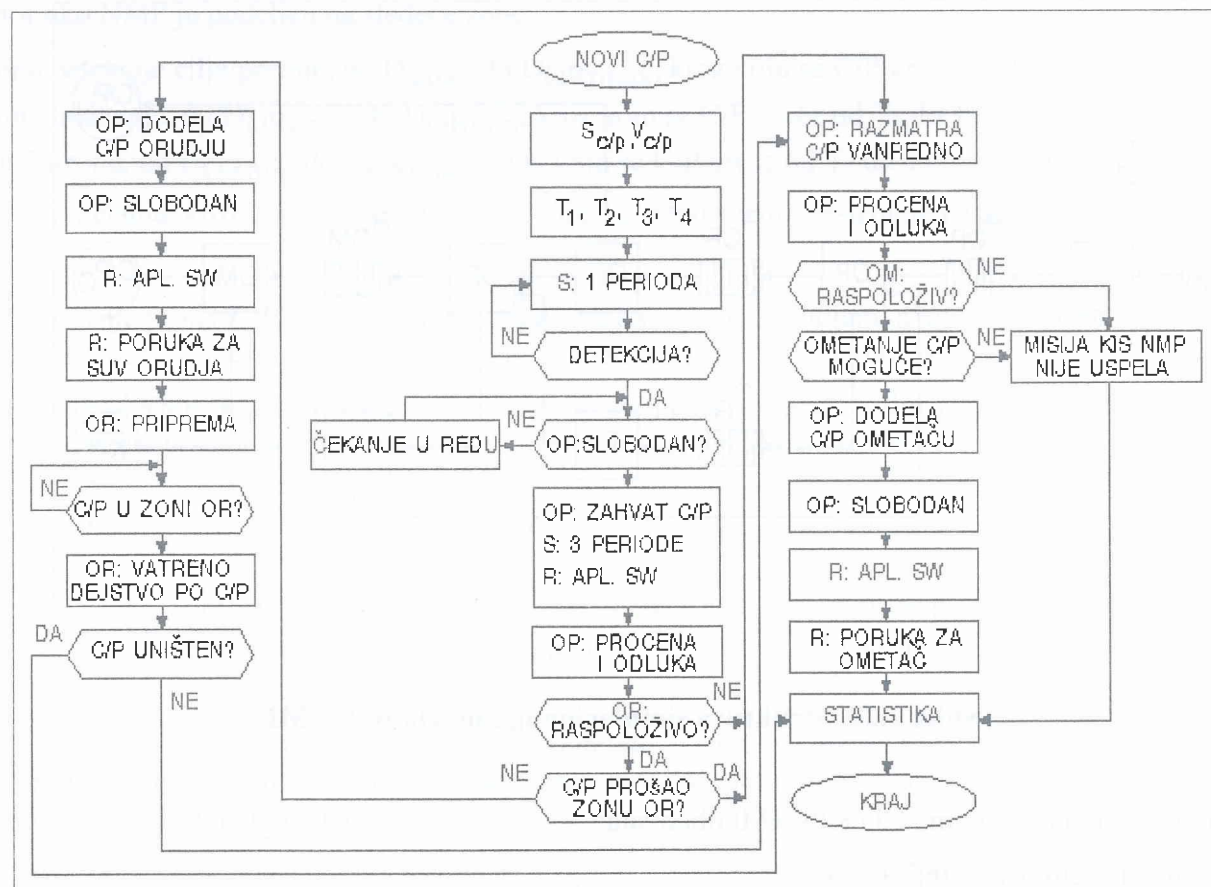


Slika 7.27. Struktura simulacionog modela KIS NMP

Struktura simulacionog modela KIS NMPobuhvata:

- generator ciljeva/pretnji ( $G_{c/p}$ );
- terminatore ciljeva/pretnji: uništenih od strane NMP ( $C/P_u$ ), ometenih od strane NMP ( $C/P_o$ ) i onih kod kojih misija KIS NMP nije uspela (KIS);
- senzor (S);
- računar (R);
- radno mesto operator KIS NMP (OP);
- izvršne organe NMP koji međusobno reaguju sa KIS NMP: orudje (OR) i ometač (OM);
- redove čekanja: pred operatorom ( $R_{OP}$ ), računarem ( $R_R$ ), orudjem ( $R_{OR}$ ) i ometačem ( $R_{OM}$ ).

Algoritamski opis simulacionog modela dat je na slici 7.28, a tipični procesi i događaji bitni za algoritam u tabeli 7.7.



Slika 7.28. Algoritamski opis simulacionog modela

Algoritam počinje generisanjem novog cilja/pretnje i uvođenjem njegovih parametara ( $S_{C/P}$ ,  $V_{C/P}$ ) i za njega karakterističnim trenucima u simuliranom vremenu ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  i  $T_4$ ).

Sledi kašnjenje od 1 periode obrtaja antene radara, koliko je potrebno da radar detektuje cilj i prikaže ka operatoru (OP) na ekranu pokazivača.

Ukoliko je operator nije slobodan (trenutno se bavi nekim drugim ciljem/pretnjom koji se ranije pojavio), posmatrani C/P se stavlja u red čekanja.

Ukoliko je operator slobodan, on preduzima potrebne aktivnosti zahvatanja C/P, što se u modelu simulira trajanjem njegovog rada, kašnjenjem od 3 periode obrtanja radarske antene koliko je potrebno da bi se izvršilo zahvatanje C/P i trajanjem odgovarajućeg izvršavanja aplikativnog softvera računara KIS NMP.

Posle zahvatanja C/P sledi operatorova procena situacije i donošenje odluke u vezi sa daljim postupkom sa posmatranim C/P.

Ukoliko orudje OR nije raspoloživo, i/ili se C/P više ne nalazi u zoni mogućeg dejstva orudja OR, S/P se upućuje u granu algoritma u kojoj se razmatraju aktivnosti sistema u vezi sa radom ometača naoružane mobilne platforme (OM).

Tabela 7.7. Tipični procesi i događaji bitni za algoritam simulatora KIS NMP

| R.b. | N A Z I V  | TRAJANJE                       | N A P O M E N A   |
|------|--|--------------------------------|---|
| 1.   | Pojava C/P na krajnjem dometu senzora                  | trenutno                       | Uzorkovanjem eksponencijalne raspodele.                           |
| 2.   | Odredjivanje parametara C/P (brzina, površina)         | trenutno                       | Uzorkovanjem funkcija raspodela parametara C/P.                   |
| 3.   | Odredjivanje $T_1$ , $T_2$ , $T_3$ i $T_4$             | trenutno                       | Iz parametara C/P i orudja.                                       |
| 4.   | Odredjivanje trenutka pojave C/P na pokazivaču senzora | slučajno, 1 do N perioda $T_a$ | Generisanjem slučajnog broja, verovatnoća detekcije $p_d = 0,5$ . |
| 5.   | Čekanje u redu pred operatorom OP                      | slučajno                       | Dok se operator OP ne oslobodi.                                   |
| 6.   | Preuzimanje C/P od operatora                           | 2 s                            | Ljudska reakcija na novi događaj.                                 |
| 7.   | Zahvat C/P   | 3 s                            | 3 periode senzora $T_a$   |
| 8.   | Rad računara na zahvatu i praćenju                     | manje od 3 s                   | Paralelno sa 7.   |
| 9.   | Procena i donošenje odluke od strane OP                | slučajno                       | Uzorkovanjem raspodele vremena razmišljanja operatora OP.         |
| 10.  | Dodela C/P orudju OR                                   | 2 s                            | konstanta, ljudska reakcija                                       |
| 11.  | Rad računara i formiranje poruke za OR                 | oko 400 ms                     | Konstanta, zavisi od aplikativnog softvera (ASW) i računara       |
| 12.  | Prenos poruke do orudja OR                             | oko 100 ms                     | Konstanta (dužina poruke i brzina serijskog prenosa podataka).    |
| 13.  | Priprema orudja OR                                     | 5 s                            | Srednja vrednost, normalna raspodela.                             |
| 14.  | Dejstvo orudja OR sa ishodom                           | slučajno                       | Generisanjem slučajnog broja.                                     |
| 15.  | Procena dejstva i donošenje odluke od OP               | slučajno                       | Uzorkovanjem raspodele vremena razmišljanja operatora OP.         |
| 16.  | Dodela C/P ometaču OM                                  | 2 s                            | konstanta, ljudska reakcija                                       |
| 17.  | Rad računara i formiranje poruke za ometač             | oko 200 ms                     | Konstanta, zavisi od aplikativnog softvera (ASW) i računara.      |
| 18.  | Prenos poruke za ometač OM                             | oko 100 ms                     | Konstanta (dužina poruke i brzina serijskog prenosa podataka).    |
| 19.  | Priprema ometača OM                                    | 3 s                            | Srednja vrednost, normalna raspodela.                             |
| 20.  | Dejstvo ometača OM sa ishodom                          | slučajno                       | Simulator, generisanjem slučajnog broja.                          |

U suprotnom, operator dodeljuje C/P orudju OR, a zatim se privremeno oslobadja, kako bi svoju pažnju mogao posvetiti drugim ciljevima/pretnjama, trenutno prisutnim u simulaciji.

Sledi rad aplikativnog softvera računara koji rezultuje porukom za sistem upravljanja vatrom orudja OR (SUV).

Posle prijema poruke vrši se priprema orudja i, ukoliko se po njenom okončanju, C/P još uvek nalazi u zoni mogućeg dejstva OR, ono otvara vatreno dejstvo po C/P.

Ukoliko se uništi C/P, KIS NMP je uspešno obavio svoju misiju. Ažuriraju se statistički podaci, posmatrani C/P se uklanja iz simulacije, a sama simulacija nastavlja sa novim ciljevima pretnjama, sve dok se ne ispune zadati uslovi za okončanje eksperimenta.

Ukoliko NMP ne uspe da dejstvom orudja uništi C/P dok je to moguće, operator vanredno (prekidanjem svog rada u vezi sa ostalim ciljevima/pretnjama) razmatra novonastalu situaciju i donosi odluku o daljim aktivnostima sistema u vezi sa posmatranim C/P.

Ukoliko je ometač OM raspoloživ i ako je ometanje C/P moguće, operator dodeljuje C/P ometaču, a zatim se osloabadjja i nastavlja rad na ostalim prisutnim ciljevima/pretnjama.

Sledi rad aplikativnog softvera računara koji rezultuje porukom za ometač OM. To je poslednja aktivnost KIS NMP u vezi sa posmatranim C/P, jer bez obzira na ishod ometanja, KIS NMP više nema nikakvog uticaja na posmatrani cilj/pretnju. Misija KIS NMP se smatra uspešnom, ažuriraju se statistički podaci, posmatrani C/P se uklanja iz simulacije, a sama simulacija nastavlja sa novim ciljevima pretnjama, sve dok se ne ispune zadati uslovi za okončanje eksperimenta.

Ukoliko ometač OM nije raspoloživ, i/ili ometanje C/P više nije moguće, misija KIS NMP se smatra neuspešnom. Ažuriraju se statistički podaci, posmatrani C/P se uklanja iz simulacije, a sama simulacija nastavlja sa novim ciljevima pretnjama, sve dok se ne ispune zadati uslovi za okončanje eksperimenta.

### Parametri i mere performansi

Parametri simulacionog modela su:

- parametri okoline KIS NMP;
- sistemski parametri KIS NMP;
- parametri izvršnih organa (orudja i ometača) NMP.

Parametri okoline KIS NMP, odnose se na ciljeve/pretnje. To su:

- Srednje vreme između dva uzastopna pojavljivanja cilja/pretnje  $T_{ia}$ ;
- Raspodela intervala između dva uzastopna pojavljivanja koja je eksponencijalna, obzirom da se radi o statistički medjusobno nezavisnim događajima;
- Brzina cilja/pretnje,  $V_{CP}$ ;
- Ekvivalentna površina za detekciju cilja/pretnje od strane radara,  $S_{CP}$ ;
- Verovatnoća pojave cilja/pretnje po vrsti  $P_{CP}$ .

Parametri ciljeva/pretnji po vrstama, dati u tabeli 7.8.

Tabela 7.8. Parametri ciljeva/pretnji

| VRSTA C/P | $V_{CP}$ [m/s] | $S_{CP}$ [m <sup>2</sup> ] | $P_{CP}$ |
|-----------|----------------|----------------------------|----------|
| TIP 1     | 250            | 4                          | 0,25     |
| TIP 2     | 300            | 0,1                        | 0,25     |
| TIP 3     | 300            | 0,5                        | 0,25     |
| TIP 4     | 50             | 4                          | 0,25     |

Sistemski parametri KIS NMP predstavljaju karakteristike senzora, operatora i računara.

Parametri izvršnih organa NMP (orudja i ometača) su verovatnoća njihovog uspešnog dejstva, maksimalni i minimalni domet. Ti parametri dati su u tabeli 7.9.

Tabela 7.9. Parametri izvršnih organa NMP

| PARAMETAR          | ORUDJE               | OMETAČ              |
|--------------------|----------------------|---------------------|
| VEROVATNOĆA USPEHA | $p_{OR} = 0,6$       | $p_{OM} = 0,6$      |
| MAKSIMALAN DOMET   | $D_{ORmax} = 4500$ m | $D_{OMmax} = 750$ m |
| MINIMALAN DOMET    | $D_{ORmin} = 1000$ m | $D_{OMmin} = 0$ m   |

Primarne mere performansi KIS NMP su:

- Uspešnost sistema ( $U$ ) i
- Prolazno vreme kroz sistem ( $t_{pr}$ ).

Uspešnost KIS NMP  $U$  [%] definisana je izrazom:

$$U = \frac{N_{uKIS}}{N_{uKIS} + N_{nuKIS}} \quad (24)$$

gde su:

$N_{uKIS}$  broj uspešnih odziva KIS NMP

$N_{nuKIS}$  broj neuspešnih odziva KIS NMP.

Uspešan odziv KIS NMP je slučaj u kome:

- KIS NMP blagovremeno dostavi poruku sa informacijama orudju, a NMP uspe da dejstvom orudja uništi cilj/pretnju, ili
- NMP ne uspe da uništi cilj/pretnju orudjem, ali KIS NMP blagovremeno dostavi poruku sa informacijama ometaču.

Neuspešan odziv KIS NMP je slučaj u kome, nakon izostanka, ili neuspelog dejstva orudja po cilju/pretnji, KIS NMP ne uspe blagovremeno da dostavi poruku sa informacijama ometaču.

Prolazno vreme cilja/pretnje kroz KIS NMP kao sistem  $t_{pr}$  [s] definisano je izrazom:

$$t_{pr} = \begin{cases} t_1 & \text{za C/P uništen od OR} \\ t_1 + t_2 & \text{za C/P neuništen od OR} \end{cases} \quad (25)$$

Vidi se da se prolazno vreme ima dve različite definicije.

U slučaju kada NMP uspe da uništi C/P dejstvom orudja OR, prolazno vreme  $t_{pr}$  jednako je  $t_1$ , dato izrazom:

$$t_1 = t_d + t_{wOP} + \max\{3T_a, t_{zahv}, (t_{wR1} + t_{SW1})\} + t_{odl} + t_{dOR} + t_{wR2} + t_{SW2} + t_{pOR} \quad (26)$$

gde su:

$t_d$  vreme uočavanja C/P na pokazivaču senzora

|            |  |
|------------|--|
| $t_{wOP}$  | vreme čekanja na operatora   |
| $T_s$      | perioda obrtanja antene radara (vreme znavljanja podataka senzora NMP) |
| $t_{zahv}$ | vreme zahvata C/P od operatora   |
| $t_{wR1}$  | vreme čekanja u računaru za rad na zahvatu i praćenju C/P              |
| $t_{SW1}$  | rad računara na zahvatu i praćenju C/P                                 |
| $t_{odl}$  | vreme procene i donošenja odluke operatora                             |
| $t_{dOR}$  | vreme dodeljivanja C/P orudju OR                                       |
| $t_{wR2}$  | vreme čekanja u računaru za rad na proračunu i formiranju poruke       |
| $t_{SW2}$  | rad računara na proračunu i formiranju poruke za orudje OR             |
| $t_{pOR}$  | vreme prenosa poruke za orudje OR.                                     |

U slučaju kada NMP ne uspe da uništi C/P orudjem, što se vidi na osnovu izlaženja C/P iz zone uništenja, prolazno vreme se uvećava za  $t_2$ , vreme rada KIS NMP na poslovima angažovanja ometača, što je dato izrazom:

$$t_2 = t_{odl} + t_{dOM} + t_{wR3} + t_{SW3} + t_{pOM} \quad (27)$$

gde su:

|           |  |
|-----------|--|
| $t_{odl}$ | vreme procene i donošenja odluke operatora                       |
| $t_{dOM}$ | vreme dodeljivanja C/P ometaču OM                                |
| $t_{wR3}$ | vreme čekanja u računaru za rad na proračunu i formiranju poruke |
| $t_{SW3}$ | rad računara na proračunu i formiranju poruke za ometač OM       |
| $t_{pOM}$ | vreme prenosa poruke za orudje OM.                               |

Sekundarne mere performansi koje se razmatraju u ovom radu su: iskorišćenja pojedinih resursa KIS NMP i karakteristike redova čekanja u okviru KIS NMP.

Iskorišćenje nekog od resursa KIS NMP, na primer računara, dato je izrazom:

$$I_{res} = \frac{t_{akt}}{t_{uk}} \quad (28)$$

gde su:

|           |  |
|-----------|--|
| $t_{akt}$ | ukupno vreme u kome je posmatrani resurs KIS NMP bio aktivan |
| $t_{uk}$  | ukupni simulirani vremenski period.                          |

Karakteristike redova čekanja su: maksimalna dužina reda  $Q_{max}$ , prosečna dužina reda  $Q_{pr}$ , prosečno vreme provedeno u redu  $T_{qpr}$  i trenutni sadržaj reda  $Q$ .

#### Analiza rezultata eksperimenata

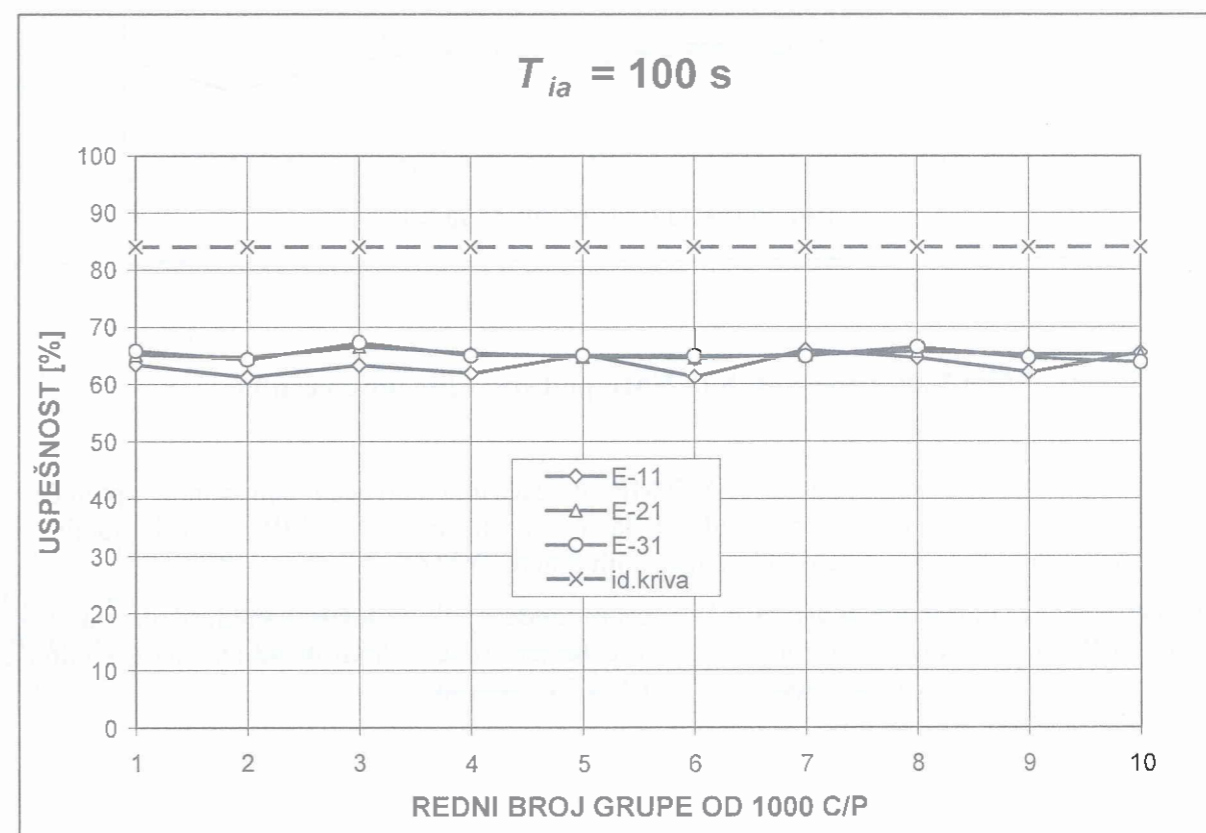
Plan eksperimenata dat je u tabeli 7.10. Razmatrana su tri različita opterećenja KIS NMP, okarakterisana parametrom  $T_{ia}$  [s]  $\in \{100, 10, 5\}$  i tri različite konfiguracije KIS NMP, zavisno od broja operatora  $N \in \{1, 2, 3\}$ .

Tabela 7.10. Plan eksperimenata

| Broj operatora OP | $T_{ia} = 100$ s | $T_{ia} = 10$ s | $T_{ia} = 5$ s |
|-------------------|------------------|-----------------|----------------|
| N = 1             | E-11             | E-12            | E-13           |
| N = 2             | E-21             | E-22            | E-23           |
| N = 3             | E-31             | E-32            | E-33           |

Da bi se ispitao čist uticaj KIS NMP na ukupnu performansu NMP, simulator je organizovan tako da C/P dolaze po eksponencijalnoj raspodeli sa intenzitetom definisanim pomoću  $T_{ia}$  sve vreme eksperimenata, a da su orudje i ometač stalno ispravni i spremni za dejstvo čim se oslobode aktivnosti u vezi sa prethodnim C/P. Time je simulirani KIS NMP stavljen u maksimalno naprezanje za zadati parametar  $T_{ia}$  dok je, sa druge strane, isključen uticaj neispravnosti orudja i ometača, ili utrošenog borbenog kompleta municije za orudje.

U svakom eksperimentu kroz simulirani KIS NMP prodje uzorak od 10000 C/P. Statistički podaci uzimaju se za svaku grupu od 1000 C/P, kao i za ukupan uzorak od 10000. Ovo je učinjeno zato da bi ponašanje simuliranog KIS NMP moglo i dinamički da se prati, a da sa druge strane mogu da se porede rezultati njegovog rada u različitim uslovima borbenih dejstava NMP, kada se intenziteti nalazaka C/P razlikuju i za dva reda veličine. Rezultati eksperimenata prikazani su na slikama 7.29, 7.30, 7.31 i u tabeli 7.11.



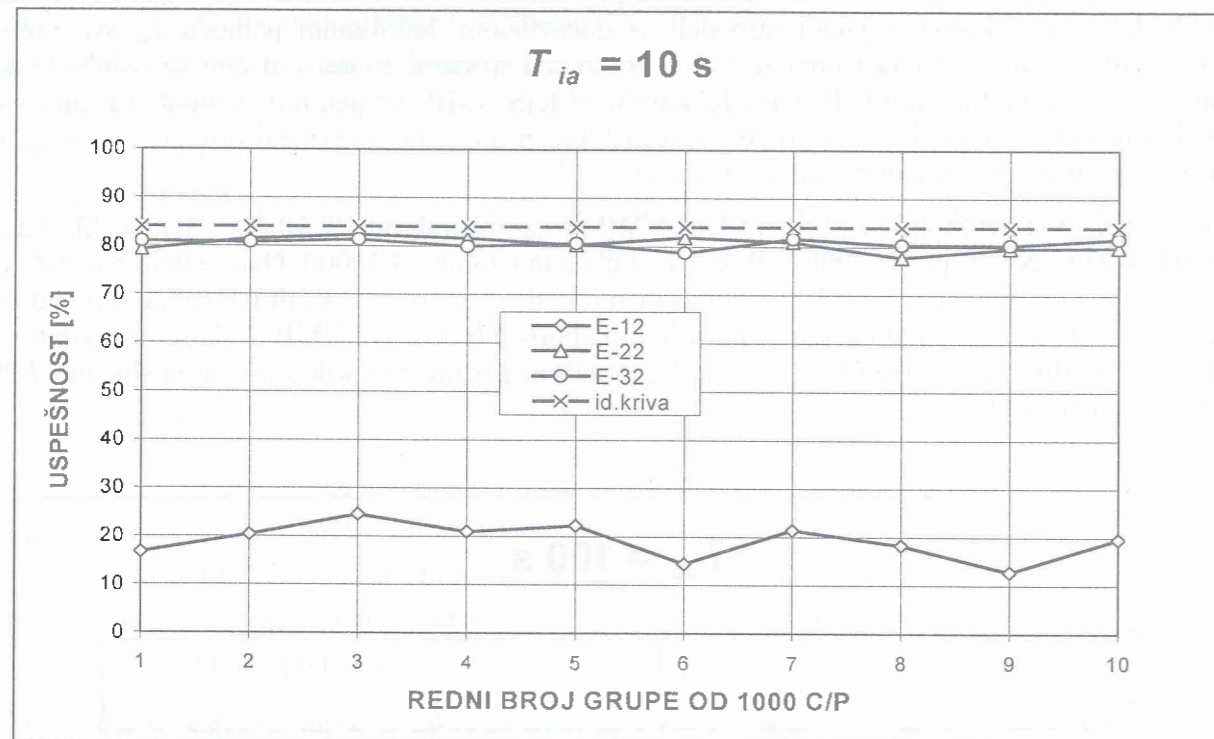
Slika 7.29. Uspešnost KIS NMP pod najmanjim opterećenjem

Na slici 7.29, prikazana je uspešnost KIS NMP, u uslovima najmanjeg ispitivanog opterećenja, okarakterisanog parametrom  $T_{ia} = 100$ s. Vidi se da u tom slučaju KIS NMP dobro funkcioniše, sa



sličnim karakteristikama bez obzira na broj operatora (N = 1, 2 ili 3), pa se kao najekonomičnije rešenje u ovom slučaju predlaže konfiguracija sa jednim operatorom (N = 1).

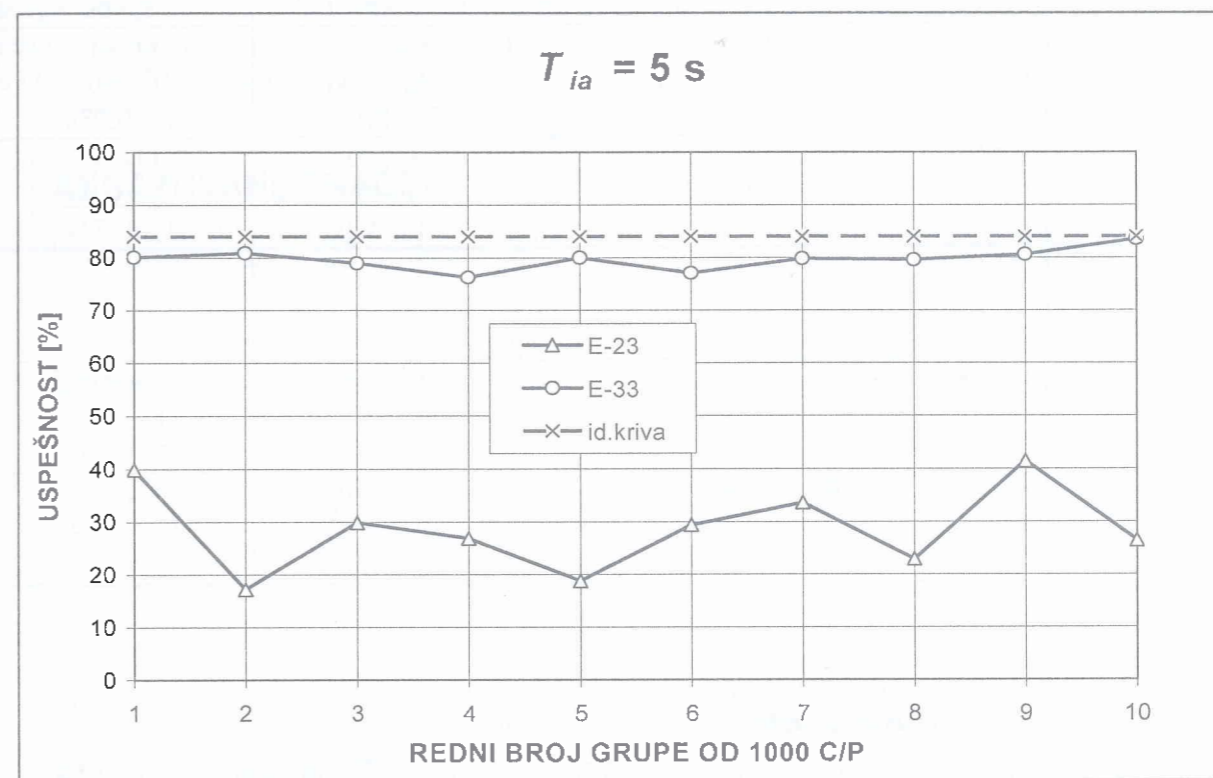
Na slici 7.30, prikazana je uspešnost KIS NMP, u uslovima srednjeg ispitivanog opterećenja, okarakterisanog parametrom  $T_{ia} = 10s$ . Vidi se da u tom slučaju KIS NMP lošije radi u konfiguraciji sa jednim operatorom (N=1), dok konfiguracije sa dva i sa tri operatora (N = 2 i N = 3) daju slične rezultate, pa se kao najekonomičnije rešenje predlaže konfiguracija sa dva operatora (N=2).



Slika 7.30. Uspešnost KIS NMP pod srednjim opterećenjem

Na slici 7.31, prikazana je uspešnost KIS NMP, u uslovima najvećeg ispitivanog opterećenja, okarakterisanog parametrom  $T_{ia} = 5s$ . Vidi se da u tom slučaju KIS NMP u konfiguraciji N=1 uopšte ne može da radi pod najvećim od razmatranih opterećenja ( $T_{ia} = 5s$ ).

Uvodjenjem drugog operatora, rad KIS NMP se omogućava, ali sa lošim karakteristikama. Tek u konfiguraciji N=3 KIS NMP radi dobro pa se, u uslovima opterećenja okarakterisanog vrednošću parametra  $T_{ia} = 5s$ , usvaja konfiguracija KIS NMP sa 3 operatora.



Slika 7.31. Uspešnost KIS NMP pod najvećim opterećenjem

Posle razmatranja sekundarnih mera performansi, datih u tabeli 7.11, može se zaključiti da su kritičan resurs KIS NMP ljudi - operatori sistema. Iskorišćenje računara se u svim eksperimentima kretalo između 2% i 41,4%, a pred njim se praktično nije formirao red čekanja. Problem zadovoljavajućeg funkcionisanja KIS NMP u razmatranim uslovima povećanih opterećenja pod borbenim dejstvima treba, dakle, da se rešava drugačijom organizacijom rada, odnosno uvodjenjem novih radnih mesta operatora, a ne daljim ulaganjima u bolja tehnička sredstva.

Tabela 7.11. Sekundarne mere performansi

| Eksperiment, broj operatora i opterećenje | Iskorišćenje operatora $I_{OP}$ [%]  | Iskorišćenje računara $I_R$ [%] | Red čekanja pred operatorom          | Red čekanja pred računarem        |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| E-11<br>N=1<br>$T_{ia}=100s$              | $I_1=18,5$                           | $I_R=2,0$                       | $Q_m=4$<br>$Q_p=0,06$<br>$T_q=5,8s$  | $Q_m=1$<br>$Q_p=0$<br>$T_q=0s$    |
| E-21<br>N=2<br>$T_{ia}=100s$              | $I_1=12,4$<br>$I_2=3,4$              | $I_R=2,0$                       | $Q_m=2$<br>$Q_p=0,01$<br>$T_q=0,14s$ | $Q_m=1$<br>$Q_p=0$<br>$T_q=0,01s$ |
| E-31<br>N=3<br>$T_{ia}=100s$              | $I_1=12,1$<br>$I_2=3,3$<br>$I_3=0,3$ | $I_R=2,0$                       | $Q_m=1$<br>$Q_p=0$<br>$T_q=0,002s$   | $Q_m=2$<br>$Q_p=0$<br>$T_q=0,02s$ |
| E-12                                      |                                      |                                 | $Q_m=41$                             | $Q_m=1$                           |

|  |   |                      |  |   |
|--|---|----------------------|--|---|
| N=1<br>T <sub>ia</sub> =10s                | I <sub>1</sub> =100   | I <sub>R</sub> =16,6 | Q <sub>pr</sub> = 16,08<br>T <sub>q</sub> = 159,7s                     | Q <sub>pr</sub> =0<br>T <sub>q</sub> =0s                            |
| <b>E-22</b><br>N=2<br>T <sub>ia</sub> =10s | I <sub>1</sub> = 77<br>I <sub>2</sub> = 69,3                            | I <sub>R</sub> =20,8 | Q <sub>m</sub> = 13<br>Q <sub>pr</sub> = 0.81<br>T <sub>q</sub> =8,17s | Q <sub>m</sub> =1<br>Q <sub>pr</sub> =0<br>T <sub>q</sub> =0,08s    |
| <b>E-32</b><br>N=3<br>T <sub>ia</sub> =10s | I <sub>1</sub> = 64,1<br>I <sub>2</sub> = 50,2<br>I <sub>3</sub> = 34,0 | I <sub>R</sub> =21   | Q <sub>m</sub> =6<br>Q <sub>pr</sub> =0.1<br>T <sub>q</sub> =4,8s      | Q <sub>m</sub> =2<br>Q <sub>pr</sub> =0.01<br>T <sub>q</sub> =0,74s |
| <b>E-31</b><br>N=1<br>T <sub>ia</sub> =5s  | *****   | *****                | *****  | *****   |
| <b>E-23</b><br>N=2<br>T <sub>ia</sub> =5s  | I <sub>1</sub> =100<br>I <sub>2</sub> =100                              | I <sub>R</sub> =34,1 | Q <sub>m</sub> =48<br>Q <sub>pr</sub> =28.2<br>T <sub>q</sub> =141,9s  | Q <sub>m</sub> =1<br>Q <sub>pr</sub> =0.03<br>T <sub>q</sub> =0,75s |
| <b>E-33</b><br>N=3<br>T <sub>ia</sub> =5s  | I <sub>1</sub> = 94,9<br>I <sub>2</sub> = 94,3<br>I <sub>3</sub> = 92,3 | I <sub>R</sub> =41,4 | Q <sub>m</sub> =40<br>Q <sub>pr</sub> =6.72<br>T <sub>q</sub> =34,04s  | Q <sub>m</sub> =2<br>Q <sub>pr</sub> =0.04<br>T <sub>q</sub> =0,21s |

### Zaključak

Realizovani program-simulator se potvrdio kao upotrebljivo softversko sredstvo za analizu i projektovanje razmatrane klase komandno-informacionih sistema.

Pomoću takvog simulatora moguće je, analizom primarnih mera performansi, oceniti ukupnu uspešnost funkcionisanja KIS NMP, a razmatranjem sekundarnih mera performansi, doći do zaključka koji su resursi KIS NMP kritični za njegov rad i koje mere treba preduzeti da bi se njegova efektivnost podigla na traženi nivo.

## 7.9 SIMULACIJA LOKALNE RADIO-RAČUNARSKE MREŽE OKLOPNOG BATALJONA

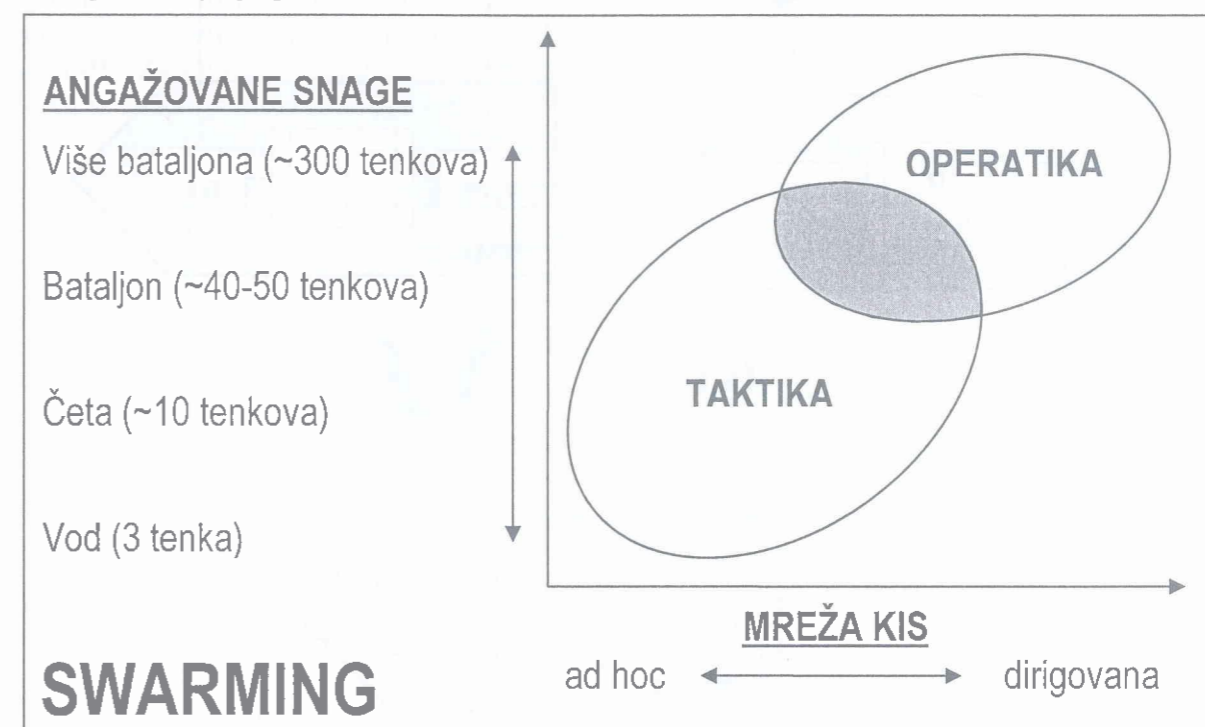
Za uspešnu primenu *swarminga* u borbenim dejstvima, treba ispuniti dva osnovna zahteva:

- Da bi protivnik mogao da se napadne iz više pravaca, mora postojati veliki broj malih pokreljivih jedinica koje su čvrsto "umrežene", odnosno mogu da komuniciraju i sadejstvuju po volji, što se u *swarmingu* od njih i očekuje.
- Snage koje primenjuju *swarming* moraju ne samo da se angažuju u izvodjenju udara, nego da čine i deo "senzorske organizacije", koja omogućava osmatranje i opažanja sinoptičkog nivoa, što je potrebno za stvaranje i održavanje potrebnog uvida u opštu situaciju.

Kao i za sve druge vojne snage, i za one koje primenjuju *swarming* mora da postoji komandni element višeg nivoa, koji ima uvid u celokupnu situaciju, ali koji u slučaju *swarminga* interveniše retko, samo po potrebi, da bi izdavao opšte direktive i sprečio neracionalno trošenje resursa na manje značajna dejstva.

Sa druge strane, mnogo veća sloboda u odlučivanju prema okolnostima na licu mesta, kao i samoorganizovanje prepušta se jedinicama nižeg nivoa, sve do pojedinačnih posada tenkova. To zahteva drugačiju organizaciju, kako komandno-informacionog sistema, tako i samog načina komandovanja i upravljanja borbenim dejstvima, kao i obuke svih učesnika.

Na slici 7.32 vidi se da oklopne i mehanizovane jedinice (OiMJ) mogu, u zavisnosti od angažovanih snaga, da izvode i taktički i operativni *swarming* (Janković R., 2007b). Zapadni teoretičari se zalažu za rešenje da najmanja jedinica koja učestvuje u *swarmingu* bude na nivou voda (Edwards S.J., 2000), što u OiMJ predstavlja grupu od 3 tenka.



Slika 7.32. Taktički i operativni *swarming* oklopnih i mehanizovanih jedinica

I

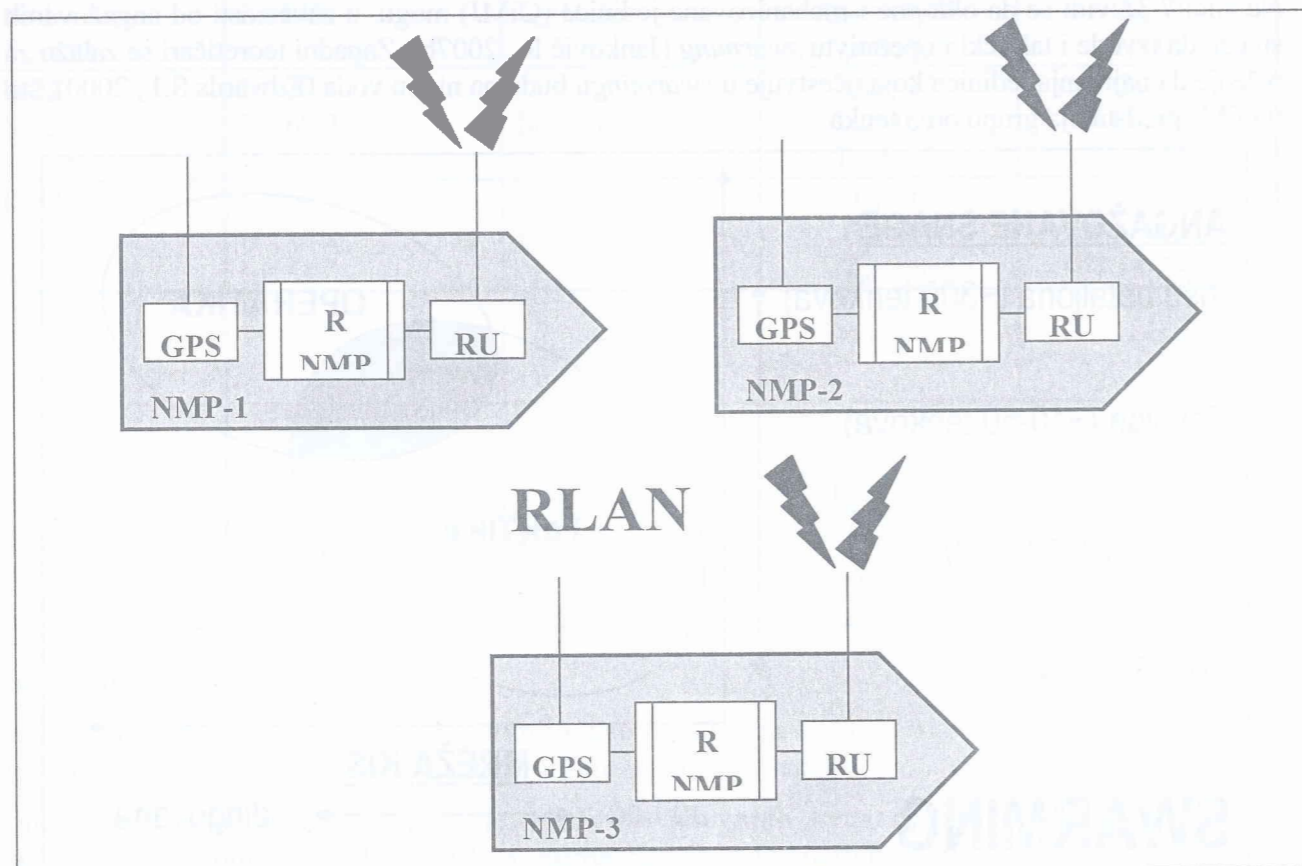
majući u vidu veličinu teritorije Srbije, geografske karakteristike, mentalitet pripadnika Vojske Srbije i ukupan planirani broj tenkova, smatramo za primerenije da svaki pojedinačni tenk bude osnova *swarminga* OiMJ (Janković R., 2007b).

Taktička dejstva se izvode do nivoa oklopnog bataljona (OKB), s tim što je moguće formiranje grupa za *swarming* od svih nižih jedinica, sve do pojedinačnog tenka. Sa druge strane, tako organizovane OiMJ mogu da izvode i operativni *swarming*, kada učestvuje više jedinica od jednog OKB.

Za informacionu podršku takvih dejstava, treba razviti komandno-informacione sisteme grupa NMP (KIS GNMP). Osnovna funkcija KIS GNMP je redovno izveštavanje svake NMP iz grupe o njenom trenutnom položaju i drugim informacijama od interesa, radi ažuriranja elektronskih radnih karata i sagledavanja situacije u realnom vremenu. Na osnovu toga, donose se odluke o daljim dejstvima, kako grupe u celini, tako i pojedinačnih NMP.

Svaka NMP treba da ima (slika 7.33):

- računar (RNMP) na čijem monitoru se prikazuje elektronska radna karta za sagledavanje situacije,
- GPS prijemnik (GPS) kao senzor za određivanje sopstvene pozicije i
- radio uređaj VVF opsega (RU) kojim su svi računari pojedinačnih NMP povezani u lokalnu radio računarsku mrežu (RLAN).



Slika 7.33. Radio računarska mreža KIS GNMP

Pokretna lokalna radio računarska mreža (RLAN) predstavlja jedan od najvažnijih podсистема KIS GNMP, jer ima značajan uticaj na ukupne performanse KIS GNMP, grupe NMP i svake svake NMP pojedinačno. U toku istraživanja RLAN (Janković R., 2005a, 2005b, 2005c) primenjena je tehnika računarske simulacije, da bi se ispitao taj uticaj i donele adekvatne odluke o tehničkim rešenjima komandno-informacionog sistema grupe NMP, njegovih podсистема i komponenta (senzora, računara i sredstava za prenos podataka).

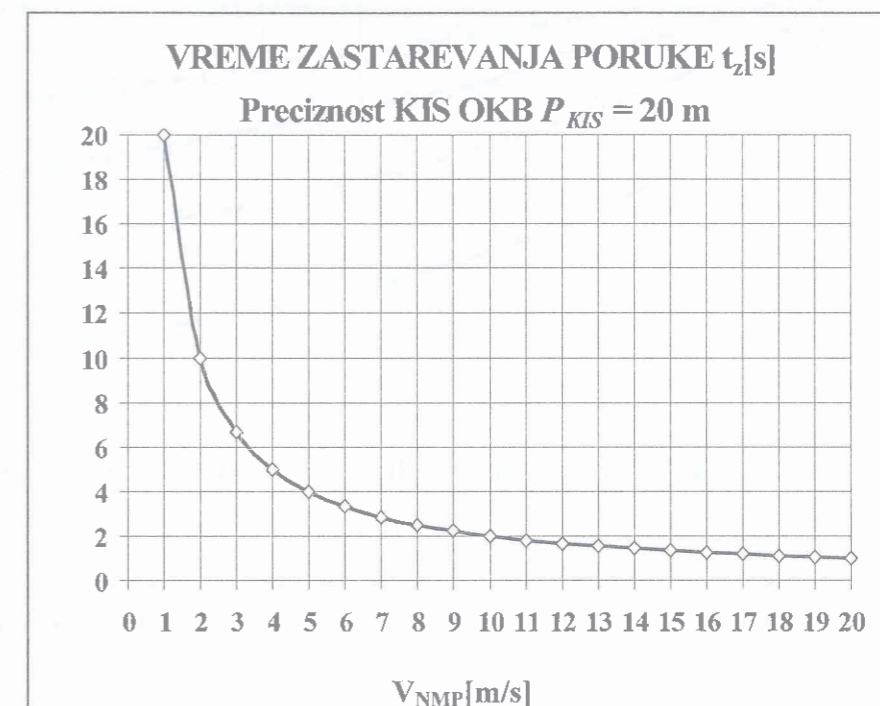
Istražuju se performanse *ad hoc* RLAN u kojoj je primenjen algoritam prepoznavanja nosioca sa višestrukim pristupom i detekcijom sukoba na kanalu (CSMA/CD), pogodan za manje grupe, kao i raznih algoritama dirigovane RLAN, pogodne za veći broj učesnika u *swarmingu* OiMJ (slika 7.32).

Polazne pretpostavke za izradu svih do sada realizovanih simulacionih modela RLAN za podršku KIS OKB bile su:

- Oklopni bataljon (OKB) sačinjava  $N_{NMP}$  naoružanih mobilnih platformi. Bataljon dejstvuje kao celina i kreće se prosečnom brzinom  $V_{GNMP}$  [m/s].
- Svaka NMP iz sastava OKB (tenk ili oklopni transporter) raspolaže prijemnikom GPS, računarom RNMP i radiouredjajem RU VVF opsega, koji može da prenosi digitalne podatke brzinom  $V_{RU}$  [b/s].
- Osnovna funkcija KIS OKB je redovno izveštavanje u realnom vremenu svake pojedinačne NMP o trenutnom položaju i drugim podacima od interesa.
- KIS OKB uspešno radi, ako dostavlja redovne izveštaje NMP pre njihovog zastarevanja. Vreme zastarevanja  $t_z$  [s] određeno je izrazom:

$$t_z = \frac{P_{KIS}}{V_{NMP}} \quad (29)$$

gde je  $P_{KIS}$  [m] preciznost KIS OKB (zadato relativno pomeranje NMP usled daljeg kretanja u odnosu na prethodnu poziciju koje se toleriše), a  $V_{NMP}$  [m/s] brzina kretanja platforme u okviru GNMP. Za OiMJ, odabrana je vrednost preciznosti  $P_{KIS} = 20$ m, što odgovara rastojanju od 3 dužine tenka (Janković R., 2005c).



Slika 7.34. Vreme zastarevanja poruke KIS OKB

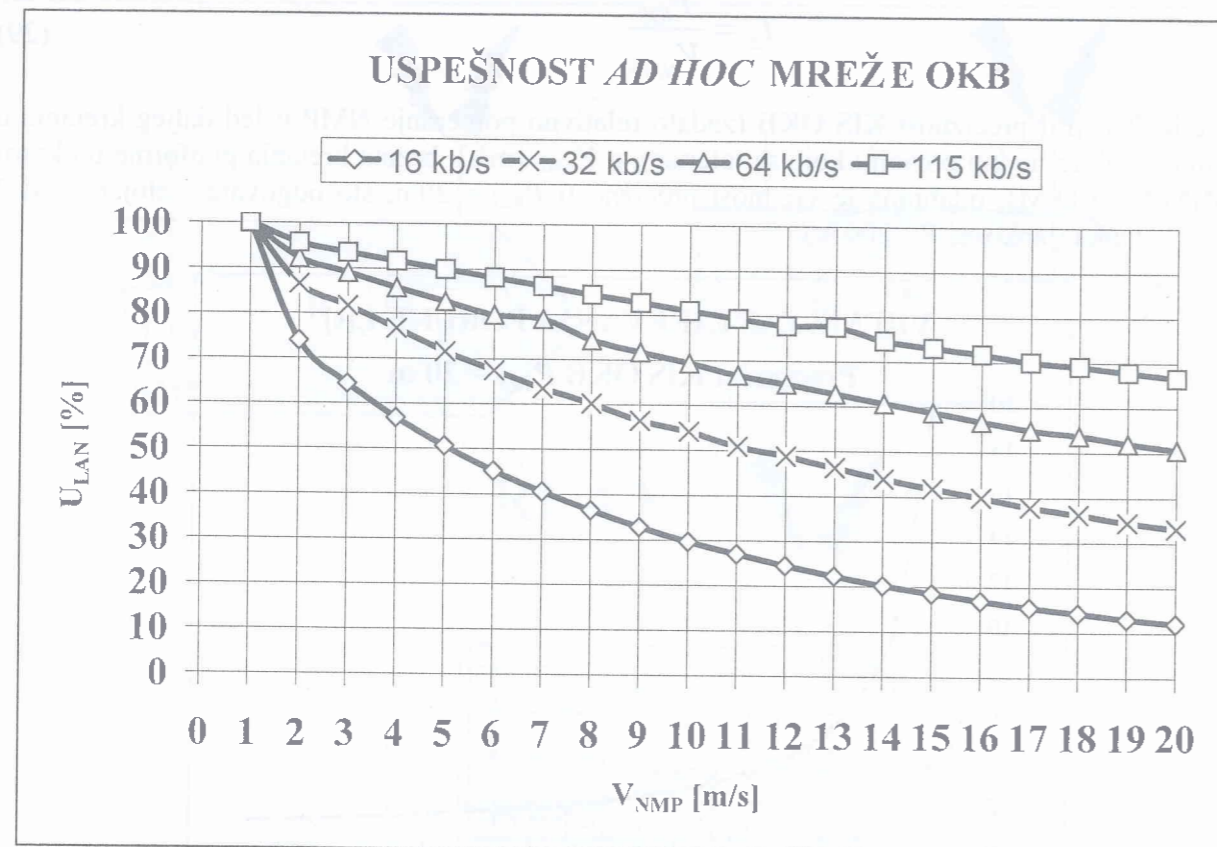
e) Ispituju se 3 algoritma rada lokalne mreže RLAN:

- ad hoc* mreža sa algoritmom [3] prepoznavanja nosioca sa višestrukim pristupom i detekcijom sukoba na kanalu (CSMA/CD);
- dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika (Janković R., 2006a);
- dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika i dve vrste poruka: za komandovanje i za izveštavanje (Janković R., 2006b, 2006c).

f) Formati poruka dati su u tabeli 7.12:

Tabela 7.12. Formati poruka KIS OKB (u bajtovima)

| Polje            | Komanda | Izveštaj |
|------------------|---------|----------|
| Preambula        | 8       | 8        |
| Adresa odredišta | 6       | 6        |
| Adresa izvora    | 6       | 6        |
| Vrsta protokola  | 2       | 2        |
| Sadržaj          | 1       | 46       |
| CRC              | 4       | 4        |



Slika 7.35. Uspešnost RLAN u funkciji brzine kretanja NMP i brzine prenosa podataka

U radu (Janković R., 2005a) prikazan je simulacioni model *ad hoc* RLAN, definisani su sistemski parametri i mere performansi i dati su rezultati 20 eksperimenata izvršenih pomoću realizovanog programa-simulatora, u kojima je simuliran po 1 sat rada mreže za podršku komandno-informacionog sistema KIS GNMP grupe od 43 naoružane mobilne platforme, što odgovara oklopnom bataljonu (OKB).

Preciznost KIS OKB bila je  $P_{KIS} = 20$  m.

Faktor eksperimenata bila je brzina kretanja NMP, za koju su redom uzete vrednosti  $V_{nmp} = \{1, 2, 3, \dots, 20\}$  [m/s], uz datu brzinu prenosa podataka postojećih radio uređjaja  $V_{RU} = 16$  kb/s.

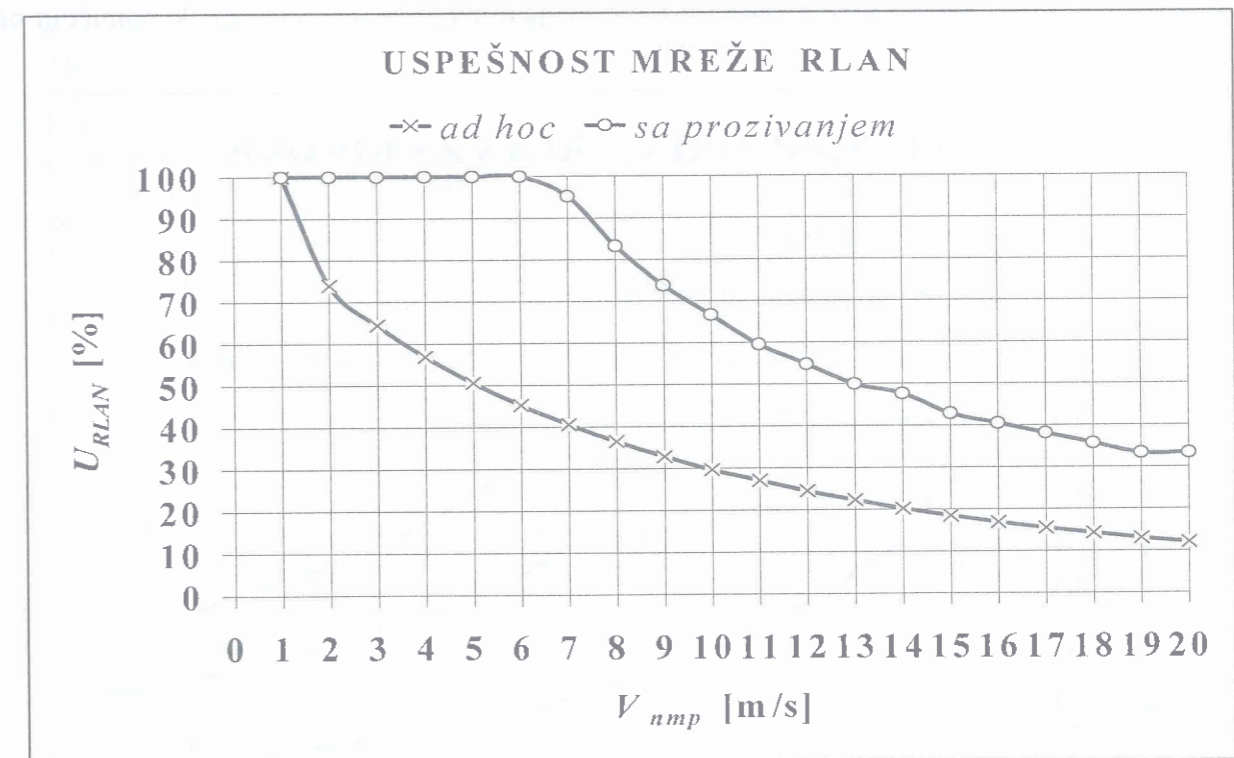
Uspešnost *ad hoc* mreže RLAN prikazana je pomoću najniže krive na slici 7.35.

Performansa takve mreže ne zadovoljava, pa je u radu (Janković R., 2005c) sa istim simulatorom izvršeno 80 eksperimenata, sa ciljem da se odredi uticaj izbora radiouređjaja (brzine prenosa podataka od 16, 32, 64 i 115 k/bs), odnosno opravdanosti njihove zamene (slika 35).

Rezultati tih eksperimenata pokazuju da za brzine kretanja OKB do 1 m/s, *ad hoc* mreža za podršku KIS OKB ima uspešnost od 100% za sve četiri razmatrane brzine prenosa podataka.

Sa povećanjem brzina kretanja OKB, opada uspešnost *ad hoc* mreže RLAN. Ako se kao kriterijum prihvatljivosti usvoji minimalna vrednost  $U_{RLAN} = 50\%$ , onda radiouređjaj brzine prenosa podataka  $V_{RU} = 16$  kb/s ne daje zadovoljavajuće rezultate, pa ga ne treba koristiti u *ad hoc* mreži RLAN za OKB.

Radiouređjaj sa  $V_{RU} = 115$  kb/s zadovoljava potrebe *ad hoc* mreže RLAN, dok se ostali razmatrani radiouređjaji po svojim performansama svrstavaju između dva koji su navedeni.



Slika 7.36. Uspešnost RLAN za KIS OKB u funkciji algoritma

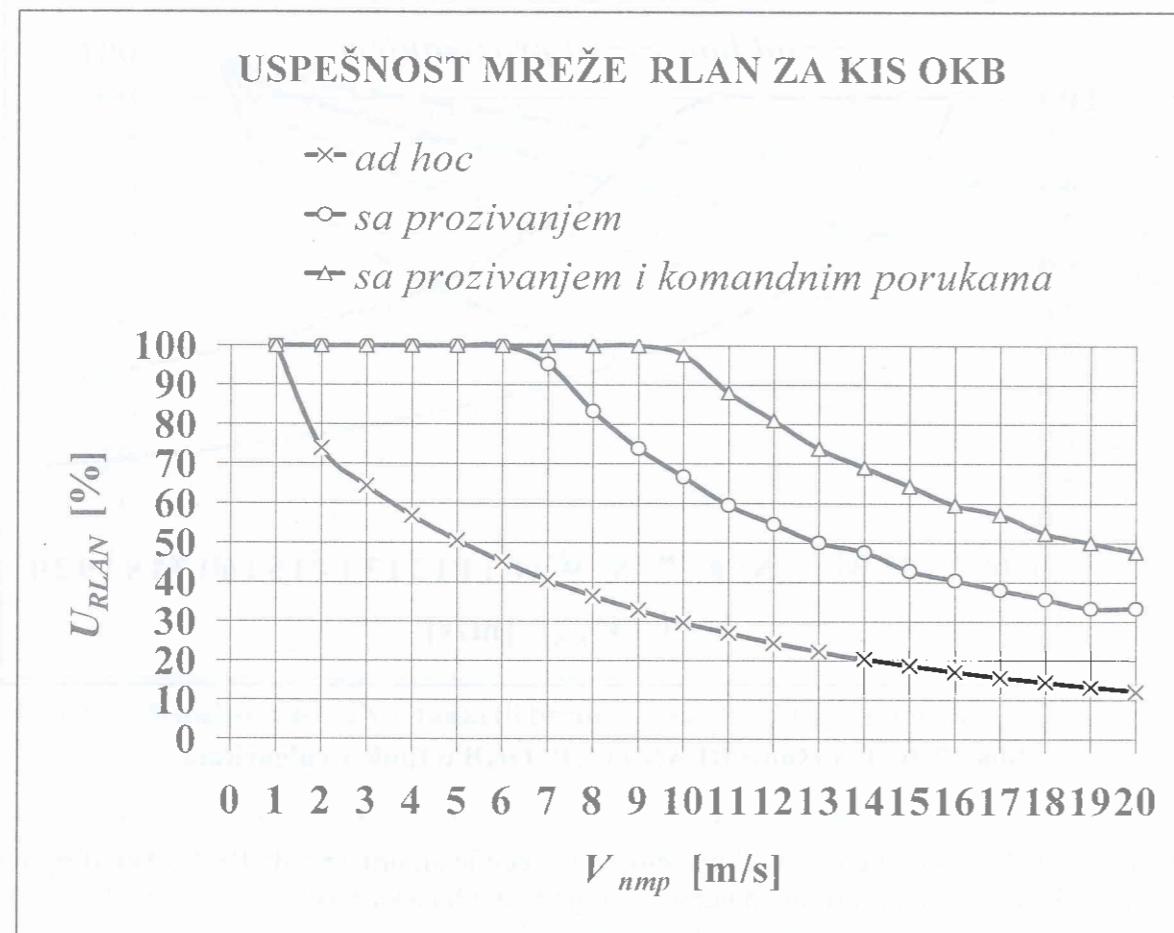
U radu (Janković R., 2006a) umesto *ad hoc* mreže, uveden je algoritam rada RLAN kao dirigovane radio računarske mreže sa prozivanjem učesnika, koji se svodi na sledeće:

1. Upravljač mreže (komandant OKB) nalazi se u jednoj od naoružanih mobilnih platformi iz grupe (NMP-1) i on određuje interval zastarevanja informacija na osnovu prosečne brzine oklopnog bataljona. U tim intervalima, on vrši prozivku (po redosledu, ili po sopstvenom nahodjenju) ostalih učesnika u mreži RLAN (NMP-i).
2. Kada (*i samo kada*) upravljač RLAN (NMP-1) prozove nekog učesnika (platformu NMP-i), NMP-i može da se odazove porukom, u kojoj izveštava NMP-1 o svom trenutnom položaju i drugim informacijama od interesa.
3. Ukoliko do isteka intervala zastarevanja ( $t_z$ ) NMP-1 ne uspe da obavi obostranu komunikaciju sa nekom od preostalih NMP iz OKB, upravljač prelazi na novu prozivku, a neostvarene komunikacije se smatraju gubitkom KIS OKB i tako utiču na uspešnost RLAN.

Taj algoritam je uveden sa ciljem da se ispitaju mogućnosti zadržavanja postojećih radiouređjaja brzine prenosa podataka  $V_{RU} = 16$  kb/s. Izvršena je računarska simulacija da bi se uporedila dva razmatrana algoritma rada mreže RLAN, a rezultati su prikazani na slici 7.36.

Uz iste radiouređjaje, dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika ima uspešnost 100% do brzine kretanja OKB od  $V_{NMP} = 6$  m/s. Njena uspešnost takodje opada sa povećavanjem brzina kretanja platformi, s tim što se granica prihvatljivog rada mreže ( $U_{RLAN} = 50\%$ ) pomerila na brzinu  $V_{NMP} = 13$  m/s.

Na najvećim brzinama NMP u OKB ( $V_{NMP} = 20$  m/s), mreža RLAN sa prozivanjem učesnika još uvek funkcioniše sa uspešnošću  $U_{RLAN} = 33\%$ , što znači da se pod takvim uslovima ostvari svaka treća komunikacija KIS OKB. Dakle, promenom algoritma rada mreže RLAN može se povećati njena performansa, uz zadržavanje postojećih radiouređjaja, pa je ovakav pristup ekonomičniji od *ad hoc* mreže RLAN sa nabavkom novih uređjaja.



Slika 7.37. Uspešnost RLAN u funkciji algoritma i vrste poruka

U radu (Janković R., 2006c), prikazuju se rezultati daljeg usavršavanja algoritma dirigovane mobilne računarske mreže komandno-informacionog sistema oklopnog bataljona sa prozivanjem učesnika, koje je postignuto uvođenjem komandne poruke, kao drugog tipa poruka KIS OKB. Rezultati eksperimenata prikazani su na slici 7.37.

Komandna poruka KIS OKB u polju za podatke sadrži samo 1 bajt, koji se koristi za kodovanje vrste komande. Kao takva, ta poruka zauzima znatno manje vremena u svakoj komunikaciji između upravljača RLAN i prozvanog učesnika, što bi za posledicu trebalo da ima znatno bolju performansu mreže kada se učesnici - naoružane mobilne platforme u okviru OKB - kreću brže, odnosno kada se skraćuje interval zastarevanja informacija u KIS OKB.

Pomoću tako realizovanog programa-simulatora, izvršeno je 20 eksperimenata u kojima je simulirano po 1 sat rada dirigovane radio računarske mreže za podršku komandno-informacionog sistema za OKB sastava ukupno 43 naoružane mobilne platforme.

Preciznost KIS OKB je  $P_{KIS} = 20$  m. Faktori eksperimenata su prosečna brzina kretanja NMP u okviru OKB, za koju su uzete vrednosti  $V_{nmp} = \{1, 2, \dots, 20\}$  [m/s] i postojanje ili nepostojanje posebnih, kraćih komandnih poruka u RLAN.

Svi eksperimenti su izvršeni uzimajući u obzir postojeće radiouređjaje, brzine prenosa podataka  $V_{RU} = 16$  kb/s.

Kao primarna mera performanse, razmatra se uspešnost mreže RLAN za podršku KIS OKB,  $U_{RLAN}$ , u zavisnosti brzine kretanja NMP. Na istom dijagramu, radi poredjena, prikazana je i uspešnost *ad hoc* mreže RLAN, pod uslovom korišćenja istih, postojećih radiouređjaja.

Rezultati eksperimenata pokazuju da se, uvođenjem specijalnih, kraćih komandnih poruka u KIS OKB, postiže znatno poboljšanje performanse mobilne lokalne računarske mreže RLAN za podršku KIS OKB u odnosu na onu koja radi po algoritmu dirigovane mreže sa prozivanjem učesnika sa jedinstvenim formatom poruke.

Dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika i komandnim porukama ima  $U_{RLAN} = 100\%$  sve do prosečne brzine kretanja OKB od  $V_{NMP} = 9,85$  m/s (35,46 km/h).

Za veće brzine kretanja NMP u sastavu OKB, uspešnost takve mreže takodje opada, ali sporije nego u slučaju dirigovane mreže RLAN sa jedinstvenim formatom poruke, a pogotovu u odnosu na *ad hoc* mrežu RLAN. Uspešnost mreže RLAN iznosi 50 % sve do brzina NMP od 19 m/s, a samo za najveću brzinu,  $V_{NMP} = 20$  m/s, ona opada na  $U_{RLAN} = 47,62$  %.

Ukoliko se analizira relativno povećanje performanse mreže RLAN u funkciji od algoritma mreže za dve karakteristične brzine kretanja OKB, rezultati eksperimenata pokazuju da:

- za  $V_{NMP} = 10$  m/s, dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika i komandnim porukama ima 1,464 puta veću uspešnost od dirigovane RLAN sa jedinstvenim formatom poruke, a 3,26 puta veću uspešnost od *ad hoc* mreže RLAN;
- za  $V_{NMP} = 20$  m/s, dirigovana mreža RLAN sa prozivanjem učesnika i komandnim porukama ima 1,429 puta veću uspešnost od dirigovane RLAN sa jedinstvenim formatom poruke, a 3,946 puta veću uspešnost od *ad hoc* mreže RLAN.

Prilikom donošenja odluke o načinu rada pokretne radio računarske mreže za podršku komandno-informacionog sistema grupe naoružanih mobilnih platformi, pored uspešnosti, kao primarne mere performansi, treba uzeti u obzir i sledeće:

- RLAN sa prozivanjem učesnika je upravljana mreža, pa treba rešiti problem preuzimanja upravljačke funkcije u slučaju prestanka funkcionisanja upravljača;
- Algoritam po kome radi takva mreža nije standardan, što zahteva dodatni napor u programiranju radiouređjaja;
- Za razliku od *ad hoc* mreže, gde pojedine NMP same donose odluku o vremenu zastarevanja informacija, na osnovu sopstvene pozicije i pojedinačne brzine kretanja, u RLAN sa prozivanjem upravljač proziva učesnike u skladu sa vremenom zastarevanja informacija određenim na osnovu prosečne brzine kretanja grupe NMP kao celine.

## 7.10 SIMULACIJA SWARMINGA OKLOPNOG BATALJONA

U ovom odeljku predstavlja se pristup računarskoj simulaciji *swarminga* (Janković R., 2008a, 2008b, 2008c, 2008d, 2009a, 2009b i 2009c), nove taktike koju pripadnici oklopnog bataljona (OKB), kao grupa naoružanih mobilnih platformi (NMP) mogu da primene u sukobu sa brojčano i tehnički superiornijim jedinicama protivnika (PRETNJA).

Pristup razradi simulacionog modela opisan je pomoću grafičkih predstava trenutnih položaja jedinica pretnje i svih pripadnika OKB, njihovog kretanja u dvodimenzionalnom prostoru sukoba, uopštenih matematičkih izraza i algoritamskog opisa simulatora. Posebno se razmatraju parametri i mere performansi sistema pretnje i naoružanih mobilnih platformi iz sastava OKB.

Cilj simulacije je da se istraži uticaj različitih parametara sistema koji čine OKB, protivnik, komandno-informacioni sistem i branjena teritorija na tok i ishod sukoba i da se donesu adekvatne odluke o tehničkim rešenjima i načelima upotrebe OKB u situacijama od interesa.

### Polazne pretpostavke

Polazne pretpostavke za izradu simulacionog modela *swarminga* oklopnog bataljona (OKB) su:

- Sistem koji se simulira sačinjavaju: oklopni bataljon (OKB), jedinice protivnika (PRETNJA), komandno-informacioni sistem (KIS) i teritorija na kojoj se odvijaju borbena dejstva (*swarming*).
- Oklopni bataljon (OKB) sačinjava  $N$  naoružanih mobilnih platformi [5], NMP- $i$ , (tenkova, transportera i dr.), koje mogu da se kreću maksimalnim brzinama  $V_i$ .
- Svaka NMP raspolaže orudjem (OR- $i$ ), koje je okarakterisano dometom ( $D_{OR-i}$ ) i kompatibilnošću sa jedinicom pretnje ( $K_{ij}$ ), što određuje i njen ukupni učinak u *swarmingu* protiv svake jedinice pretnje ( $U_{ij}$ ).
- Svaka NMP raspolaže prijemnikom GPS, računarom RNMP i radiouredjajem RU VVF opsega, koji može da prenosi digitalne podatke brzinom  $V_{RU}$  [b/s]. Na taj način, NMP je aktivni učesnik u okviru komandno-informacionog sistema (KIS), pa sve vreme dok KIS funkcioniše, ima saznanja o položaju i kretanju jedinica pretnje i sopstvenih snaga na teritoriji na kojoj se odvijaju borbena dejstva.
- PRETNJA se sastoji od  $M$  jedinica, P- $j$ , koje mogu da se kreću maksimalnim brzinama  $V_j$ . Svaka jedinica pretnje je snažnija od pojedinačnih NMP iz OKB, pa da bi se prema njima, kao pojedinačnim ciljevima, mogla primeniti taktika *swarminga*, potrebno je da se predje kritičan prag kumulativnog učinka više NMP, PKU, koji je karakterističan za tu jedinicu pretnje.
- Za razliku od NMP iz OKB, jedinice pretnje nemaju na raspolaganju saznanja o postojanju OKB i nalaze se na izvršenju sopstvenog zadatka, krećući se sopstvenom brzinom po sopstvenoj putanji preko posmatrane teritorije.
- Osnovna funkcija komandno-informacionog sistema (KIS) je redovno izveštavanje svih korisnika o trenutnom položaju i drugim podacima od interesa:
  - jedinica pretnje, na osnovu podataka prikupljenih od strane multisenzorske osmatračke mreže teritorije (MOM) i NMP i drugih sopstvenih snaga;
  - NMP iz sastava OKB, na osnovu redovnog izveštavanja pojedinačnih NMP o relevantnim promenama sopstvenog položaja.
- KIS uspešno radi, ako dostavlja redovne izveštaje o kretanju jedinica pretnje i pojedinačnih NMP pre njihovog zastarevanja.

Vreme zastarevanja izveštaja o trenutnom položaju jedinice pretnje, ili NMP iz OKB dato je izrazom:

$$t_{zast-i} = \frac{P_{KIS-i}}{V_i} \quad (30)$$

gde je  $P_{KIS-i}$  [m] preciznost KIS (zadato relativno pomeranje posmatrane jedinice pretnje ili sopstvene NMP usled daljeg kretanja u odnosu na prethodnu poziciju koje se toleriše), a  $V_i$  [m/s] njena brzina kretanja u periodu davanja izveštaja..

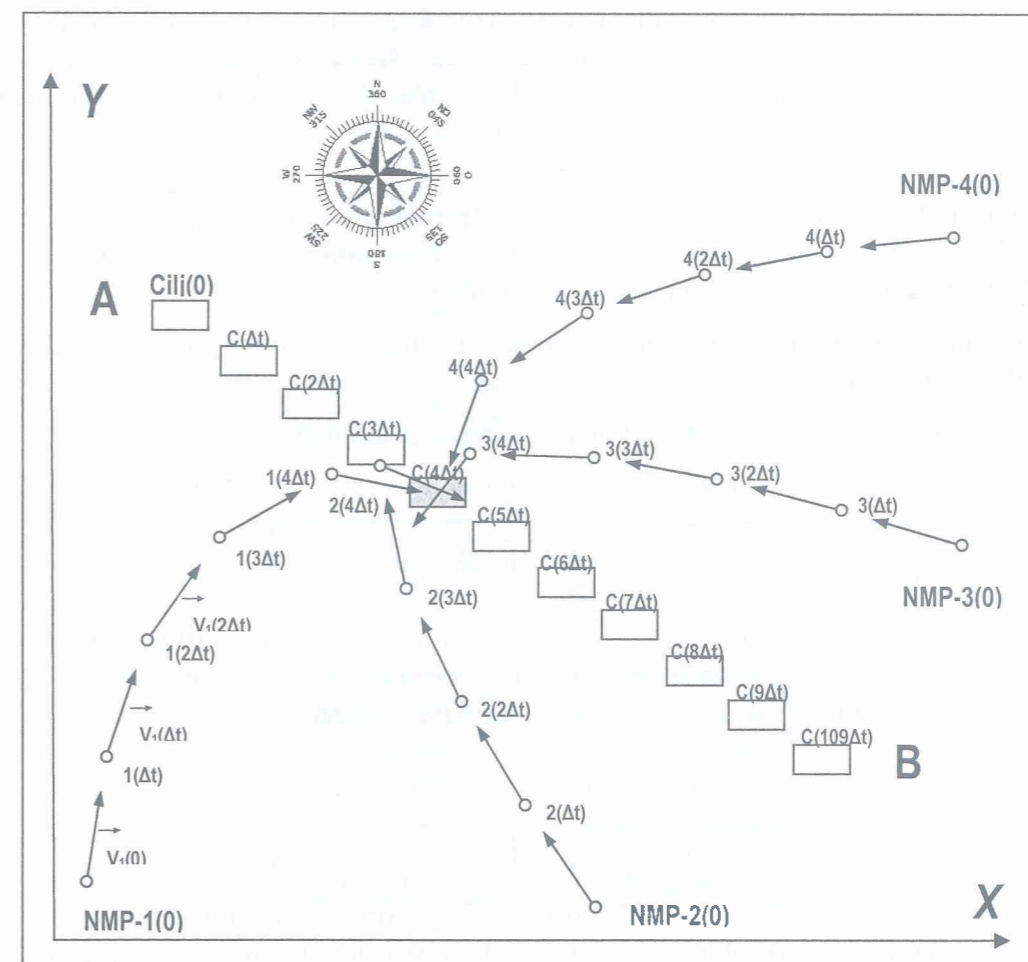
### Simulacioni model

Simulacioni model *swarminga* OKB (Janković R., 2008c) je diskretan i dinamički, orijentisan na događaje. Aktivnosti sistema se u modelu predstavljaju čistim vremenskim kašnjenjima.

Borbena dejstva se odvijaju na teritoriji koja se u modelu predstavlja dvodimenzionalnim pravoluglim koordinatnim sistemom. U modelu se kreću:

- Jedinice iz sastava OKB (NMP- $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ )
- Ciljevi - jedinice pretnje (P- $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ )
- Poruke komandno-informacionog sistema (KIS).

Naoružane mobilne platforme OKB su na početku simulacije okarakterisane svojim početnim rasporedom na teritoriji no kojoj se odvijaju borbena dejstva ( $t = 0$ ). Raspored može biti slučajan, ili u nekom od odabranih namenskih oblika, već prema načinu izvodjenja dejstava koji se očekuje.



Slika 7.38. Kretanje jedinice pretnje (Cilj) i platformi NMP-1, 2, 3 i 4

Cilj simulacije je da se ispita uticaj različitih početnih rasporeda OKB i gustine posednutosti teritorije od strane NMP iz sastava OKB na uspešnost *swarminga*.

Rezultati dobijeni na osnovu slučajnog rasporeda uzimaju se kao referentna vrednost sa kojom se porede rezultati simulacije na osnovu namenskih početnih rasporeda OKB.

Naoružane mobilne platforme iz sastava OKB (NMP-*i*) su aktivni učesnici u komandno-informacionom sistemu (KIS OKB). U vremenskim intervalima  $\Delta t$  različite dužine (zavisno od vremena zastarevanja) one dobijaju informacije o kretanju jedinica pretnje (P-*j*) i ostalih NMP-*i* iz OKB, a daju i izveštaje o sopstvenih trenutnim položajima.

Na osnovu tih informacija, NMP-*i* se usmeravaju ka jedinicama pretnje i počinju kretanje ka njima, sa ciljem da što pre dodju u položaj koji im omogućava izvodjenje uspešnog *swarminga*, radi uništenja, onespособljavanja ili sprečavanja protivnika u izvršenju njegove misije.

Na slici 7.38 data je grafička predstava kretanja dela sistema koji se sastoji od 1 jedinice pretnje (Cilj) i 4 NMP iz sastava OKB (1, 2, 3 i 4) koje manevrišu da bi ostvarile *swarming*.

U trenutku  $t = 0$ , NMP-*i* kreću ka jedinici pretnje, brzinama predstavljenim vektorima usmerenim ka njenom položaju dostavljenom od strane KIS, Cilj(0), brzinama predstavljenim odgovarajuće usmerenim vektorima intenziteta jednakih maksimalnim brzinama pojedinačnih NMP-*i*.

Jedinica pretnje je u izvršenju sopstvene misije *i*, za razliku od jedinica OKB, nema na raspolaganju informacije KIS, pa je njen prvenstveni cilj da ostvari sopstveni zadatak, što se u modelu predstavlja kretanjem po zadatoj trajektoriji između tačaka A i B, prema odgovarajućim funkcionalnim zavisnostima njenih koordinata od vremena,  $x_c(t)$  i  $y_c(t)$ .

Kada istekne period zastarevanja i KIS dostavi izveštaj o novom položaju cilja ( $t = \Delta t$ ), cilj se pomerio na novi položaj,  $C(\Delta t)$ . Do tog trenutka, NMP-*i* su se pomerile na svoje nove položaje,  $1(\Delta t)$ ,  $2(\Delta t)$ ,  $3(\Delta t)$  i  $4(\Delta t)$ , sledeći usmerenje iz prethodnog intervala, a zatim se vektori brzina preusmeravaju ka novom položaju cilja i proces nastavlja.

Da bi NMP-*i* koja učestvuje u *swarmingu* mogla da dejstvuje po jedinici pretnje, moraju da budu ispunjena sledeća 3 uslova:

- NMP-*i* mora da ima orudje OR-*i* koje je kompatibilno sa protivničkom jedinicom.
- Rastojanje NMP-*i* i protivnika mora da bude u granicama domera orudja OR-*i*, odnosno:

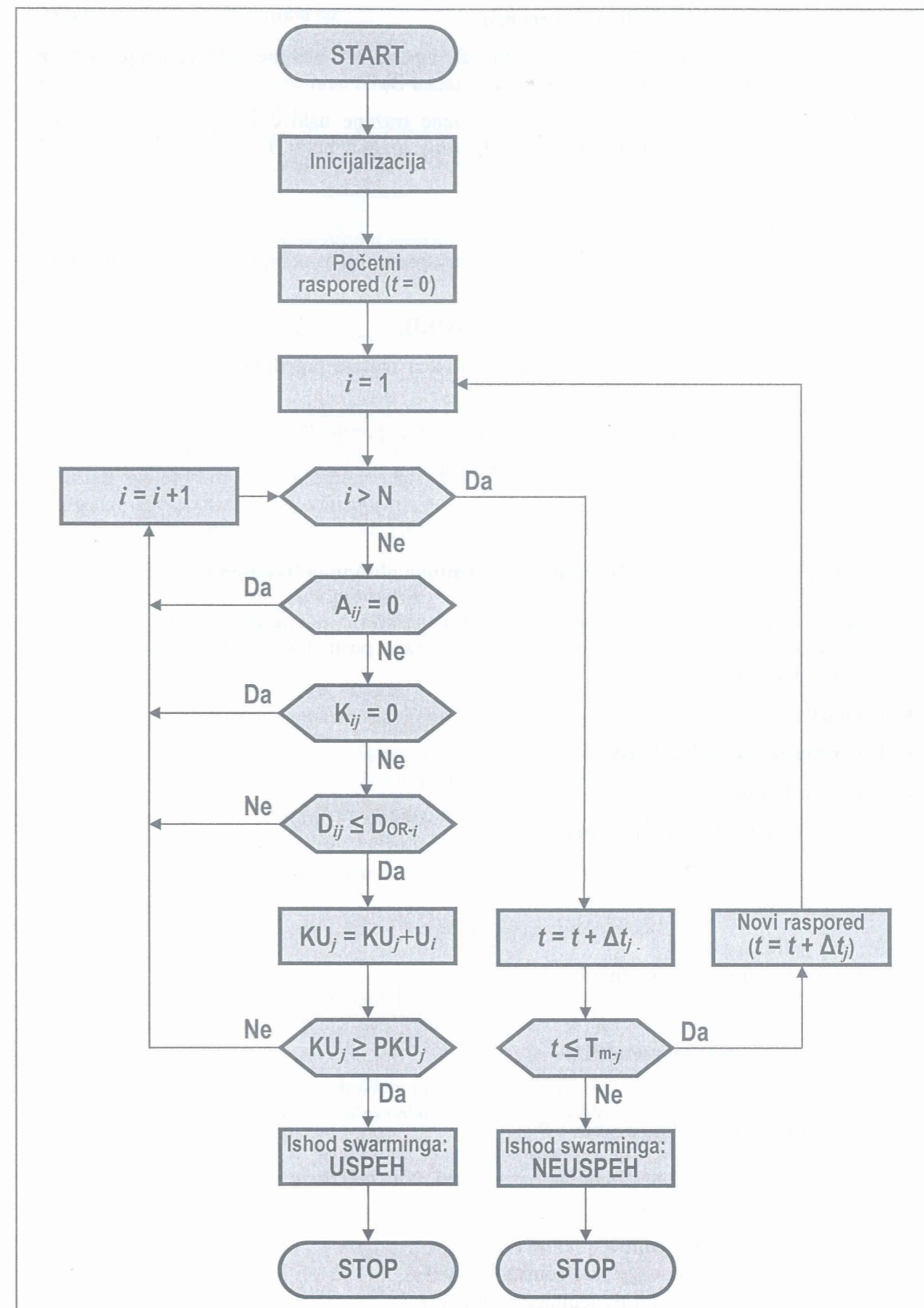
$$D_{ij} = \sqrt{(y_j(t) - y_i(t))^2 + (x_j(t) - x_i(t))^2} \leq D_{OR-i} \quad (31)$$

- Uslove pod a. i b. treba da ispuni dovoljan broj ostalih NMP iz sastava OKB, tako da njihov ukupni kumulativni učinak,  $KU_j$  bude veći ili jednak kritičnom pragu kumulativnog učinka više NMP,  $PKU_j$ , koji je karakterističan za jedinicu pretnje  $P_j$ , odnosno:

$$KU_j = \sum_{i=1}^N A_{ij} \cdot K_{ij} \cdot U_{ij} \geq PKU_j \quad (32)$$

gde su:

- $A_{ij}$ : koeficijent dodeljivanja (0 ili 1) koji u simulatoru služi za prethodno dodeljivanje jedinice pretnje P-*j* jedinici NMP-*i*, u modelima *swarminga* protiv više ciljeva;
- $K_{ij}$ : kompatibilnost orudja OR-*i* sa pretnjom P-*j* (0 ili 1)
- $U_{ij}$ : moguć učinak orudja OR-*i* protiv P-*j*.



Slika 7.39. Algoritamski opis simulatora *swarminga* po odabranoj jedinici pretnje P-*j*

U modelu su mogući sledeći ishodi *swarminga*:

- a. NEUSPEŠAN: Jedinice OKB nisu mogle da ispune sve tražene uslove, pa je pretnja ostvarila misiju (u primeru na sl.7.38: stigla u tačku B)
- b. USPEŠAN: Jedinice OKB su uspele da ispune tražene uslove i dejstvima primenom *swarminga* sprečile pretnju u izvršenju misije (nije stigla u tačku B).

#### Algoritamski opis

Simulator sukoba jedinice pretnje i oklopnog bataljona koji u odbrani teritorije primenjuje *swarming* obuhvata 3 modula:

- modul za generisanje sukoba jedinica pretnje i OKB;
- modul za početni raspored i dodeljivanje jedinica pretnje pojedinim NMP iz OKB radi primene *swarminga*;
- modul za simulaciju *swarminga* po odabranoj jedinici pretnje P-j.

Osnovu simulatora čini modul za *swarming* po jednoj odabranoj jedinici pretnje P-j (slika 7.39).

#### Sistemske parametri i mere performansi *swarminga* oklopnog bataljona

Parametri simuliranog sistema oklopnog bataljona sastava  $N$  naoružanih mobilnih platformi koji u sukobu sa  $M$  jedinica jedinica pretnje brani posmatranu teritoriju primenjujući *swarming*, obuhvataju sledeće:

- Parametri pretnje
- Parametri oklopnog bataljona
- Parametri teritorije
- Parametri komandno-informacionog sistema

Parametri pretnje su:

- $M$ : broj jedinica pretnje
- Početni položaj jedinice pretnje P-j:

$$A_j(x_j(0), y_j(0))$$

- Krajnji položaj jedinice pretnje P-j:

$$B_j(x_j(T_j), y_j(T_j))$$

- Zakonitost kretanja jedinice pretnje P-j:

$$\text{po } x\text{-osi: } x_j(t, V_j, \dots)$$

$$\text{po } y\text{-osi: } y_j(t, V_j, \dots)$$

- $V_j$ : maksimalna brzina jedinice pretnje P-j
- $PKU_j$ : kritični prag kumulativnog učinka protiv P-j
- Pr-j: prioritet za dejstvo protiv jedinice pretnje P-j

Parametri oklopnog bataljona su:

- $N$ : broj naoružanim mobilnih platformi (NMP-i)
- $V_i$ : maksimalna brzina jedinice NMP-i
- $D_{OR-i}$ : dolet orudja OR-i
- $K$ : matrica kompatibilnosti orudja OR-i sa jedinicama pretnje P-j
- $U$ : matrica mogućih učinaka orudja OR-i protiv jedinica pretnje P-j

Parametri teritorije na kojoj se odvija *swarming* su:

- Oblik površine teritorije
- Dimenzije
- Gustina posednutosti teritorije od strane OKB: broj NMP po jedinici površine

Parametri komandno-informacionog sistema (KIS) su:

- $P_{KIS-i}$ : preciznost KIS, zadato relativno pomeranje svake jedinice pretnje P-j ili NMP-i usled daljeg kretanja u odnosu na prethodnu poziciju koje se toleriše (za koje ne zastarevaju podaci o tom položaju)
- $V_{RU}$ : brzina sredstava za prenos podataka.

Mere performansi simuliranog sistema oklopnog bataljona (NMP-i,  $i = 1, 2, \dots, N$ ), koji u sukobu sa  $M$  jedinica jedinica pretnje (P-j,  $j = 1, 2, \dots, M$ ) u odbrani posmatrane teritorije primenjuje taktiku *swarminga*, definišu se na uzorku od  $L$  takvih simuliranih sukoba i obuhvataju sledeće:

- Procent uspešnih ishoda *swarminga*;
- Ukupno vreme potrebno za uspostavljanje uspešnog *swarminga*  $T_s$ .

Prva mera performanse predstavlja procenu verovatnoće uspešne primene *swarminga*, kao taktičkog pristupa u odbrani od brojičano i tehnički nadmoćnijeg protivnika.

Ukupno vreme trajanja sukoba,  $T_s$ , definiše se kao interval simuliranog vremena koji protekne od distribucije poruke KIS o detekciji bar jedinice pretnje, do trenutka ispunjenja uslova za uspešnu primenu taktike *swarminga* protiv pretnje, definisanih u odeljku 3. ovog rada.

#### Prethodni rezultati

U radu (Janković R., 2008a) predstavljen je pristup računarskoj simulaciji *swarminga*, nove taktike koju pripadnici oklopnog bataljona (OKB), kao grupa naoružanih mobilnih platformi (NMP) mogu da primene u sukobu sa brojičano i tehnički superiornijim jedinicama protivnika.

U pristupu koji je preduzet u istraživanjima, u simulaciji se vidi svaki pojedinačnom tenk, a razmatra se grupa naoružanih mobilnih platformi do nivoa oklopnog bataljona.

Oklopni bataljon je odabran kao ciljna grupa naoružanih mobilnih platformi za simulaciju, imajući u vidu da se on pojavljuje i u taktičkom i u operativnom *swarmingu* oklopnih i mehanizovanih jedinica.



Taktička dejstva se izvode do nivoa oklopnog bataljona (OKB), s tim što je moguće formiranje grupa za *swarming* od svih nižih jedinica, sve do pojedinačnog tenka. Sa druge strane, tako organizovane OimJ mogu da izvode i operativni *swarming*, kada učestvuju više jedinica od jednog OKB.

U radu (Janković R., 2008b) prikazani su simulacioni model i algoritam za *swarming* grupe naoružanih mobilnih platformi, za čiju implementaciju je upotrebljen jezik za simulaciju sistema sa diskretnim događajim GPSS World.

U radu (Janković R., 2008c) predstavljen je realizovani simulator *swarminga*, koji pripadnici OKB, kao grupa naoružanih mobilnih platformi mogu da primene u sukobu sa brojčano i tehnički superiornijim jedinicama protivnika (pretnja/cilj). U cilju ispitivanja ispravnosti rada realizovanog simulatora, izvršen je eksperiment sa sistemom čije su karakteristike date u tabeli 7.13.

Tabela 7.13. Osnovne karakteristike simuliranog sistema

|                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Teritorija                        | 20000 m x 20000 m               |
| Brzina jedinice pretnje           | $V_c = 15$ m/s                  |
| Početni položaj pretnje           | (0, 0) [m]                      |
| Krajnji položaj pretnje           | (20000, 20000) [m]              |
| Zakon kretanja pretnje            | Jednako, pravolinijsko, $V_c$   |
| Broj NMP u OKB                    | $N = 43$                        |
| Početni raspored NMP              | Slučajan, po celoj teritoriji   |
| Brzina NMP- <i>i</i>              | $V_{NMP-i} = 15$ m/s            |
| Orudje OR- <i>i</i>               | $A = 1, D = 2500$ m, $U = 0,15$ |
| Prag kumulat. učinka OR- <i>i</i> | PKU = 3 (20 NMP)                |
| Obnavljanje inform. KIS           | $\Delta t = 10$ s               |

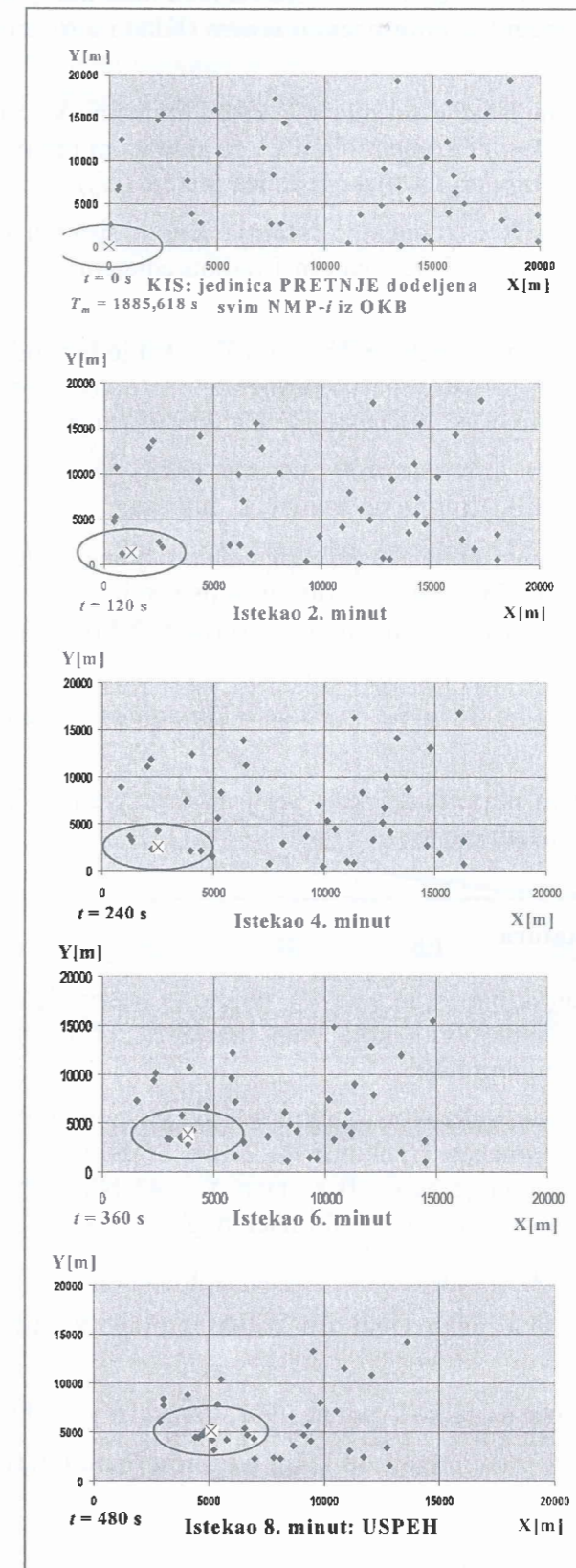
U eksperimentu je simulirana iznenadna pojava jedinice pretnje na teritoriji dimenzija 20x20 km, na kojoj su slučajno rasporedjene jedinice OKB, koje sve mogu da dejstvuju po pretnji.

Kao kriterijum za uspešan *swarming*, usvojeno je da je za posmatranu pretnju/cilj potrebno da joj se najmanje 20 NMP iz OKB približi na rastojanje manje od 2500 m, koliko iznosi maksimalan efikasan domet glavnog orudja svake pojedinačne NMP.

Na slici 7.40 grafički je prikazan izlaz simulatora u nekoliko karakterističnih trenutaka dinamičkog razvoja *swarminga*.

Vidi se da su naoružane mobilne platforme iz OKB pod datim uslovima postigle uspešan *swarming* (20 njih se istovremeno našlo unutar krive koja predstavlja granično rastojanje od 2500 m od cilja) u trenutku  $t = 480$  s, odnosno 8 minuta simuliranog vremena posle trenutka prve detekcije pojave protivnika na teritoriji na kojoj se odvijaju borbena dejstva.

Kako je vreme koje je jedinici pretnje bilo potrebno da izvrši svoju misiju - da stigne u tačku sa koordinatama (20000 m, 20000 m) - u posmatranom slučaju bilo  $T_m = 1885,618$  s, jedinice OKB su u prikazanoj realizaciji eksperimenta uspešno primenile taktiku *swarminga* u odbrani teritorije.



Slika 7.40. Dinamički razvoj *swarminga* OKB

### Simulirani sistem

Sistem koji se simulira sačinjavaju: grupa od  $N$  naoružanih mobilnih platformi (NMP- $i$ ,  $i = 1, \dots, N$ ), jedinica pretnje, komandno-informacioni sistem (KIS) i teritorija na kojoj se odvijaju borbena dejstva (*swarming*).

Naoružane mobilne platforme NMP- $i$ , mogu da se kreću brzinama  $V_i$ . Svaka ima orudje (OR- $i$ ), koje karakteriše domet ( $D_{OR-i}$ ) i kompatibilnošću sa jedinicom pretnje ( $K_{ij}$ ), što određuje i njen ukupni učinak u *swarmingu* protiv svake jedinice pretnje ( $U_{ij}$ ).

Svaka NMP je aktivni učesnik u komandno-informacionom sistemu i raspolaže odgovarajućom opremom (prijemnikom GPS, računarom i radiouređajem za prenos podataka brzine  $V_{RU}$ ).

Pretnja/cilj može da se kreće maksimalnom brzinom  $V_c$ . Ona je jača od pojedinačnih NMP iz grupe, pa da bi se prema njoj mogao uspešno primeniti *swarming*, treba da se predje kritičan prag kumulativnog učinka više NMP,  $PKU_j$  koji je karakterističan za takvu pretnju/cilj.

Osnovna funkcija komandno-informacionog sistema (KIS) je redovno izveštavanje svih korisnika o trenutnom položaju i drugim podacima od interesa:

- o jedinici pretnje, na osnovu podataka prikupljenih od strane multisenzorske osmatračke mreže teritorije, pojedinih NMP iz grupe i drugih sopstvenih snaga;
- o svakoj NMP iz grupe, na osnovu redovnog izveštavanja NMP- $i$  o promenama sopstvenog položaja.

KIS uspešno radi, ako dostavlja redovne izveštaje o kretanju jedinica pretnje i svake NMP- $i$  pre njihovog zastarevanja.

Borbena dejstva se odvijaju na teritoriji koja se u modelu predstavlja dvodimenzionalnim pravouglim koordinatnim sistemom.

### Osnovni algoritam simulatora

Osnovni algoritam simulatora dat je na slici 39. Njime je obuhvaćen slučaj kada OKB kao grupa naoružanim mobilnih platformi koja brani teritoriju, primenjuje taktiku *swarminga* protiv samo jedne jedinice cilja/pretnje.

Pomoću programa-simulatora, realizovanog u programskom jeziku GPSSWorld (Janković R., 2008b) izvršeno je 60 eksperimenata (Janković R., 2009a, 2009b) u kojima je simulirano po  $L = 10000$  sukoba 1 jedinice pretnje sa OKB sastava  $N = 43$  NMP, što čini ukupno 600000 simuliranih sukoba. Preciznost komandno-informacionog sistema bila je  $P_{KIS} = 150$  m.

Faktori eksperimenata bili su:

- Vrsta cilja/pretnje, izražena preko vrednosti kritičnog praga za uspešan *swarming*,  $PKU_j \in \{1.5, 3.0, 4.5\}$
- Veličina branjene teritorije u obliku kvadrata, čija stranica  $a \in \{500, 1000, \dots, 10000$  m}

Simulacija je izvedena za 3 vrste pretnji od kojih teritoriju brani OKB sastava  $N = 43$  NMP primenjujući *swarming*:

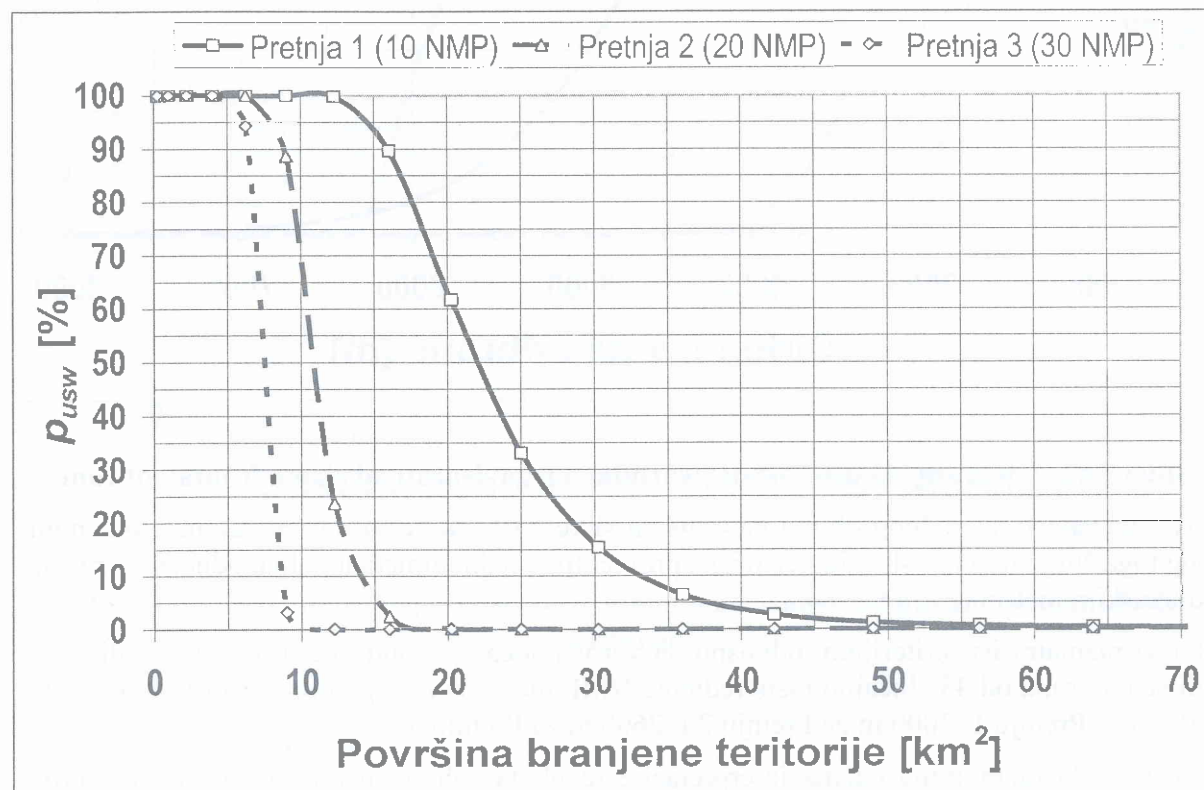
- Pretnja 1 (zahteva 10 NMP za uspešan *swarming*)
- Pretnja 2 (zahteva 20 NMP za uspešan *swarming*)

- Pretnja 3 (zahteva 30 NMP za uspešan *swarming*)

Rezultati eksperimenata prikazani su na slikama 7.41, 7.42 i 7.43. Za datu veličinu grupe od  $N = 43$  NMP, razmatra se verovatnoća uspeha *swarminga* u zavisnosti od površine branjene teritorije  $S$  [ $\text{km}^2$ ], širine fronta odbrane  $a$  [m] i gustine posednutosti branjene teritorije od strane grupe NMP,  $G$  [ $\text{NMP}/\text{km}^2$ ], date izrazom:

$$G_{NMP} = \frac{N}{S} \quad (33)$$

gde je  $N$  broj NMP u grupi, a  $S$  površina branjene teritorije.

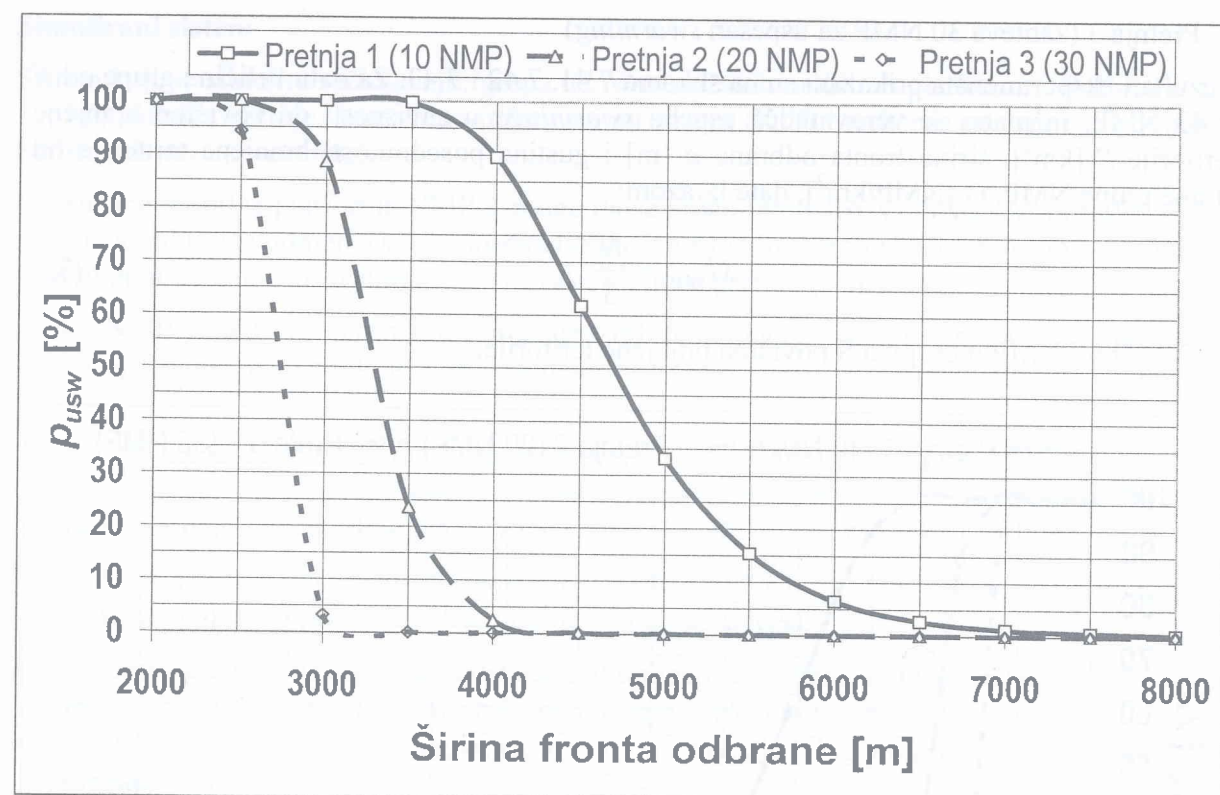


Slika 7.41. Verovatnoća uspešnosti *swarminga* u zavisnosti od površine teritorije

Na slici 7.41 prikazane su krive zavisnosti verovatnoće uspešnosti *swarminga*,  $p_{usw}$ , od površine branjene teritorije,  $S$ . Simulirani sistem se ponaša očekivano: verovatnoća uspešnog *swarminga* na manjim branjenim površinama je u početku 100%, a zatim opada sa povećanjem površine teritorije, sve dok ne postane zanemarljiva. Ta promena je najbrža za Pretnju 3 (za uspešan *swarming* potrebno je 30 NMP), sporija je za Pretnju 2 (20 NMP), a najsporija za Pretnju 1 (10 NMP).

Ukoliko se kriterijum za uspešan sistem uzme da verovatnoća  $p_{usw}$  bude veća od 90%, vidi se da grupa od 43 slučajno raspoređene NMP može da ga ispuni na teritoriji od oko  $16 \text{ km}^2$  za Pretnju 1,  $9 \text{ km}^2$  za Pretnju 2 i  $6,5 \text{ km}^2$  za Pretnju 3.

Jedan od uobičajenih načina da se razmatraju pitanja odbrane teritorije je da se to čini u zavisnosti od širine fronta odbrane, što je prikazano na slici 7.42.



Slika 7.42. Verovatnoća uspešnosti swarminga u zavisnosti od širine fronta odbrane

Krive zavisnosti su sličnog oblika kao one sa slike 7.41, sa nešto postepenijom promenom, zbog toga što je u ovom slučaju nezavisna promenljiva jednodimenzionalna, odnosno izražena u dužinskim metrima.

Ako se razmatra isti kriterijum, odnosno da verovatnoća  $p_{usw}$  bude veća od 90%, vidi se da vidi se da grupa od 43 slučajno raspoređene NMP može da ga ispuni na širini fronta od oko 4000 m za Pretnju 1, 3000 m za Pretnju 2 i 2600 m za Pretnju 3.

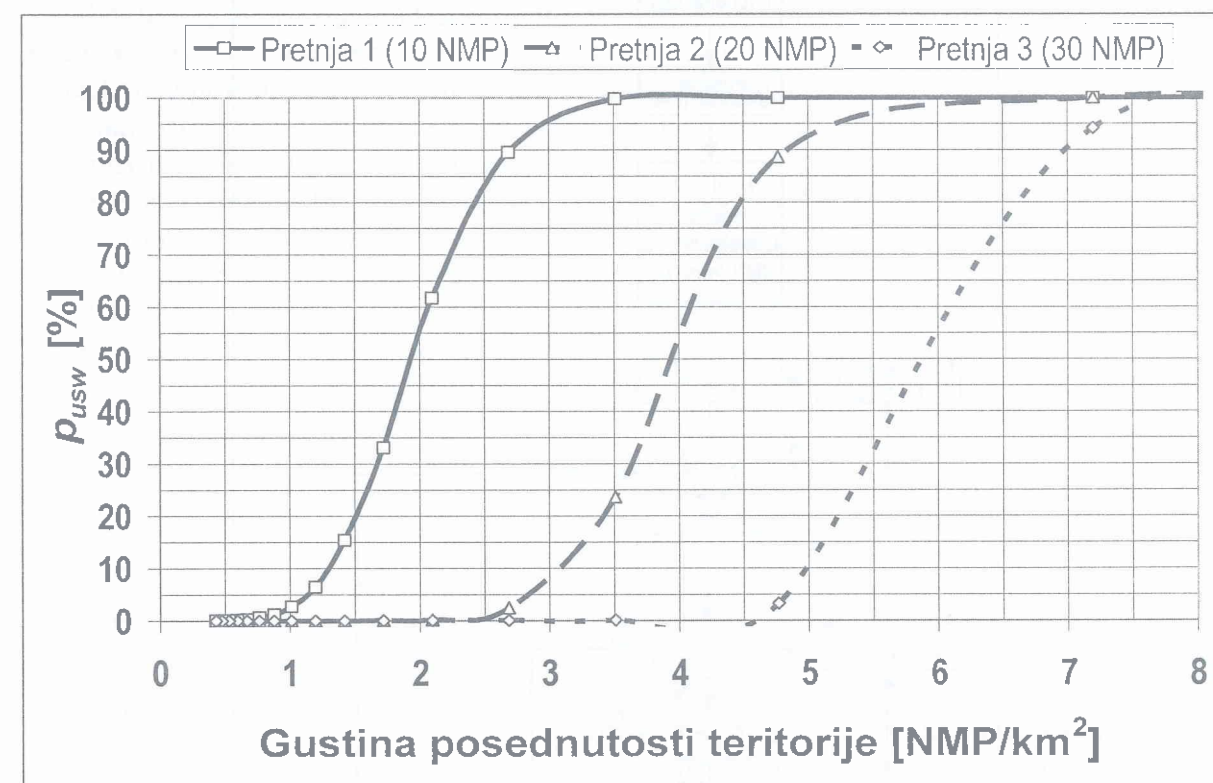
Oba do sada razmotrena načina interpretacije rezultata zahtevaju poznavanje tačnog broja NMP u grupi ( $N = 43$ ).

Na slici 7.43 prikazan je nešto drugačiji način, gde se verovatnoća uspeha *swarminga* razmatra u funkciji gustine posednutosti branjene teritorije od strane NMP iz grupe, odnosno od broja NMP po  $\text{km}^2$ . Ta verovatnoća počinje od 0% za „praznu“ teritoriju, pa sa povećanjem gustine posednutosti raste do 100%. Takva promena je naizraženija kod Pretnje 1, cilja za čiji je uspešan *swarming* potrebno bar 10 NMP, sporija je kod Pretnje 2 (20 NMP), a najsporija je kod Pretnje 3 (30 NMP).

Vidi se da posmatrana grupa NMP ispunjava kriterijum da verovatnoća  $p_{usw}$  bude veća od 90% pri gustini posednutosti branjene teritorije  $G_{NMP} = 2,7 \text{ NMP/km}^2$  za Pretnju 1,  $G_{NMP} = 4,8 \text{ NMP/km}^2$  za Pretnju 2 i  $G_{NMP} = 7 \text{ NMP/km}^2$  za Pretnju 3.

Rezultati koje daje simulator *swarminga* grupe naoružanih mobilnih platformi mogu se upotrebiti za planiranje angažovanja oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) u odbrani teritorije.

Ukoliko se poznaju karakteristike pretnje/cilja, postizanje odgovarajuće gustine, odnosno broja NMP po jedinici površine teritorije rezultovaće određenom verovatnoćom uspešnog ishoda borbenih dejstava primenom *swarminga*.



Slika 43: Verovatnoća uspešnosti swarminga u zavisnosti od gustine posednutosti teritorije

### Swarming na više ciljeva

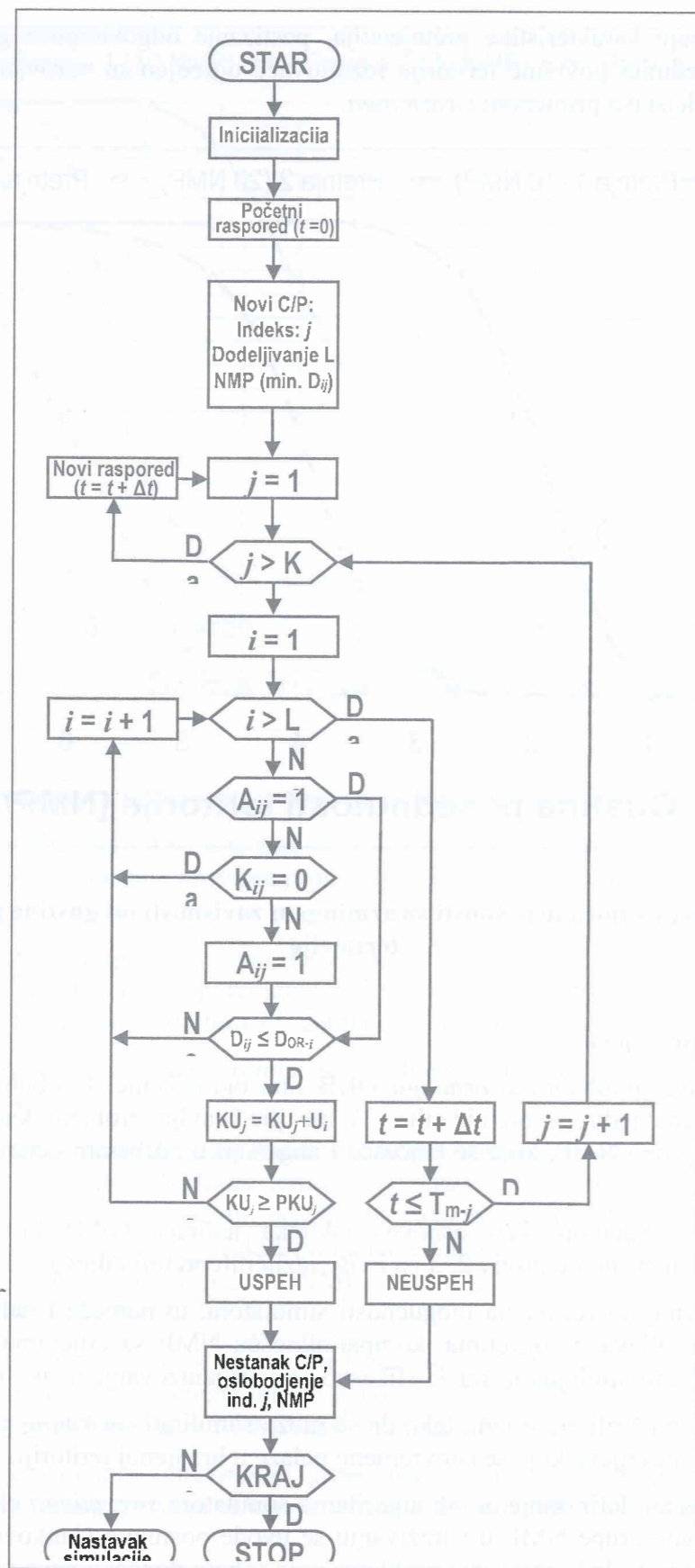
Osnovni algoritam simulatora *swarminga* OKB ima ograničenje da obuhvata istovremenu pojavu samo jedne jedinice pretnje/cilja. To ne predstavlja problem kada se razmatraju relativno manje grupe NMP, koje se najčešće i angažuju u borbenim dejstvima protiv jedne ozbiljnije pretnje.

Medjutim, oklopni bataljon, kao osnovna taktička jedinica OiMJ ima mogućnosti da istovremeno izvodi *swaming* protiv 2, 3 pa i više različitih pretnji/ciljeva.

Pored kvantitativnog povećavanja mogućnosti simulatora, to nameće i neka nova pitanja u vezi sa izborom ciljeva, prioritetima, kompatibilnošću NMP sa ciljevima i mogućnostima grupe naoružanih mobilnih platformi za efikasno samoorganizovanje u takvim situacijama.

Zato je potrebno proširiti algoritam, tako da se može simulirati *swarming* grupe NMP protiv više jedinica pretnji/ciljeva koje se istovremeno nalaze u branjenoj teritoriji.

Proširenja, odnosno, definisanje novih algoritama simulatora *swarminga* oklopnog bataljona kao reprezentativne grupe NMP u istraživanju se uvode postupno (Janković 2009e, 2009e), prema prirodnom redosledu rešavanja problema koje sobom donosi pojava više ciljeva/pretnji.



Slika 7.44. Algoritam swarminga protiv više ciljeva

Najvažnije pitanje je uvođenje mogućnosti istovremene pojave više ciljeva/pretnji (Janković R., 2009e) u simulacioni model. To je učinjeno pod sledećim polaznim pretpostavkama:

- Ciljevi/pretnje (C/P), P-j, u zoni izvodjenja borbenih dejstava pojavljuju nezavisno jedan od drugog u proizvoljnom prostornom i vremenskom rasporedu.
- Svaki novi C/P izvršava sopstvenu misiju, okarakterisanu sopstvenim zakonom kretanja i tačkom u prostoru koju takvim kretanjem treba da postigne.
- Svaki novi C/P definisan je svojim kritičnim pragom kumulativnog učinka više NMP koje protiv njega izvode *swarming* (PKU<sub>j</sub>).
- OKB angažuje NMP iz svog sastava, podrazumevajući da su svi C/P koji se pojave na teritoriji koju brani podjednakog značaja, a razlikuju se samo po tome kojim su redosledom došli i bavi se njima prema tom redosledu.
- OKB angažuje oko svakog trenutno prisutnog C/P dovoljan broj NMP koji obezbeđuje potencijalni uspešan *swarming*. NMP se dodeljuju po kriterijumu najmanjeg rastojanja od posmatranog C/P. Preostale NMP, OKB angažuje za druge C/P, ako ih ima na teritoriji koju brani.
- Posle uspešnog *swarminga*, C/P se uklanja iz simulacije, oslobadjaju se NMP angažovane u *swarmingu* protiv njega, kao i njegov indeks u strukturi podataka kojom se predstavljaju C/P trenutno prisutni u simulatoru. Svi ti resursi dodeljuju se novim C/P koji ulaze u simulaciju.

Algoritam *swarminga* protiv više ciljeva/pretnji (Janković R., 2009c, 2009e, 2009f), definisan na osnovu navedenih pretpostavki, prikazan je na slici 7.44. Proistekao je iz osnovnog algoritma, za simulaciju *swarminga* protiv jednog cilja/pretnje, a proširen je delovima za upravljanje sa više ciljeva/pretnji, koje OKB obradjuje prema redosledu dolaska, u skladu sa njihovim zahtevima, izraženim kroz kritičan prag kumulativnog učinka više NMP koje učestvuju u *swarmingu* i raspoloživim sopstvenim mogućnostima, odnosno brojem NMP koje mogu da se angažuju u *swarmingu* protiv svakog od tih ciljeva/pretnji.

### Zaključak

U ovom odeljku prikazan je razvijen i realizovani simulator *swarminga* oklopnog bataljona koji brani teritoriju od jeddince pretnje, jače od svakog pojedinačnog tenka iz sastava OKB.

Pomoću simulatora, implementiranog jezikom GPSSWorld, izvršeno je 60 eksperimenata u kojima je ispitivan uticaj vrste pretnje/cilja i veličine branjene teritorije na uspešnost *swarminga* slučajno raspoređenog oklopnog bataljona.

Dat je osvrt na ograničenja realizovanog simulatora i algoritam *swarminga* grupe naoružanih mobilnih platformi protiv više ciljeva.

Istraživanja koja su u toku, obavljaju se na Računarskom fakultetu Univerziteta Union u Beogradu.

## 8 KONCEPT DATA FARMINGA

„Data farming“ je eksperimentalni koncept koji se još uvek razvija i ima potencijal za značajan doprinos procesu odlučivanja u vojnoj oblasti, pre svega u domenu automatskog generisanja većeg skupa mogućih scenarija razvoja posmatrane situacije ili problema odlučivanja. Data farming koncept nastao je u istraživačkim institucijama Marinskog korpusa SAD (Laboratorija za proučavanje ratovanja; Projekat „Albert“; Geri Horne, prvi direktor projekta; sadržaji koji slede zasnovani su na materijalima sa sajta: [www.projectalbert.org](http://www.projectalbert.org) i pratećim linkovima).

Simulacioni koncept poznat pod imenom „data farming“ („uzgajanje podataka“) predstavlja jednu kategoriju rezultata koji su proistekli iz preporuka koje je definisao Naučni savet MO SAD sredinom 1996. godine. Ove preporuke su deklarirane sa ciljem da se unaprede postojeći istraživački i analitički pristupi u oblasti simulacije, ili, kako oni to kažu „analitička kultura“, Tabela 8.1.

Tabela 81. Preporuke o promeni „analitičke kulture“ u simulaciji

| Promena „analitičke kulture“ u simulaciji (Brandstein, Horne, 1998)  |   |
|--|---|
| Kako je bilo!  | Kako treba da bude!   |
| Zatvoreno:<br>-birokratski pregled<br>-akreditovana analiza  | Otvoreno:<br>-kompetentni pregled<br>-kompetitivna analiza  |
| Orijentacija ka modelu:<br>-mehanicistički<br>-malo podataka<br>-rigidno odobravanje<br>-stabilni algoritmi                                | Orijentacija ka realnom sistemu<br>-relevantno<br>-puno podataka<br>-učenje i adaptacija<br>-nestabilni fenomeni  |
| Komprimovati (ograničiti) neizvesnosti   | Dopustiti, modelovati i spoznati neizvesnosti   |
| Komprimovati (ograničiti) rizik  | Dopustiti, modelovati i spoznati rizik  |
| Hladnoratovska orijentacija:<br>-nekoliko akreditovanih scenarija (mali broj, propisani scenariji)<br>-jasno istaknute pretnje u procenama | Orijentisanost na sadašnjost i budućnost (aktuelne i budućuće pretnje):<br>-široki spektar scenarija<br>-robusnost modela na varijaciju pretnji (dopušten veći broj različitih pretnji) |

Razlozi za ovu inicijativu sa najvišeg nivoa o promeni analitičke kulture u primeni i razvoju simulacija bili su dvojaki. Prvo, sazrela je spoznaja o izvesnim ograničenjima dotadašnjih simulacionih pristupa u vojnoj oblasti. Dotadašnji simulacioni pristupi pokazivali su

nedovoljni kapacitet da obuhvate sve atribute realnog sistema koji su bili od interesa. U suštini reč je o tendenciji da se poboljša verodostojnost simulacionih modela. Drugo, dinamičan razvoj informacione tehnologije nametnuo je pitanje kako da se ta dostignuća iskoriste u većoj meri.

„Data farming“ koncept stvoren je u okviru istraživačkih struktura marinskog korpusa SAD, i to u okviru projekta pod nazivom „projekt Albert“ (po čuvenom nobelovcu Albertu Ajnštajnu). Koncept „data farming“ počiva na sledećim eksternim faktorima:

- napredku u razvoju simulacija zasnovanih na konceptu agenata (to je omogućilo unošenje elemenata adaptivnosti i drugih atributa realnog sistema u model ) i modela i teorija o kompleksnim adaptivnim sistemima;
- napredku u razvoju kapaciteta i mogućnosti savremenih računara (to je neophodno za tretman velikih količina podataka pridruženih proširenom skupu atributa u modelu, za obradu i prikaz velikog skupa izlaznih rezultata, kao i za obezbeđenje vizuelnih prikaza);
- napredku u metodološkom pristupu organizaciji, analizi i vizualizaciji podataka.

„Data farming“ je inovativni način generisanja skupova podataka iz modela, takvih da ti podaci po svojoj suštini predstavlja skup mogućih rešenja, ili bolje rečeno skup mogućih opcija razvoja modelovanog procesa ili situacije.

Smisao osnovne ideje „data farminga“ jeste pružanje uvida donosiocima odluka u način razvoja-odvijanja-ponašanja modelovane složene realnosti (procesa, situacije, sistema). Po vojničkoj terminologiji, „data farming“ daje skup mogućih „kurseva akcija“ (COA –courses of action), odnosno daje pregled mogućih opcija razvoja proučavane situacije. Svaki pojedinačni podskup podataka predstavlja jednu moguću opciju razvoja modelovane realnosti, i takvo jedno „rešenje“ se naziva „destilacija“.

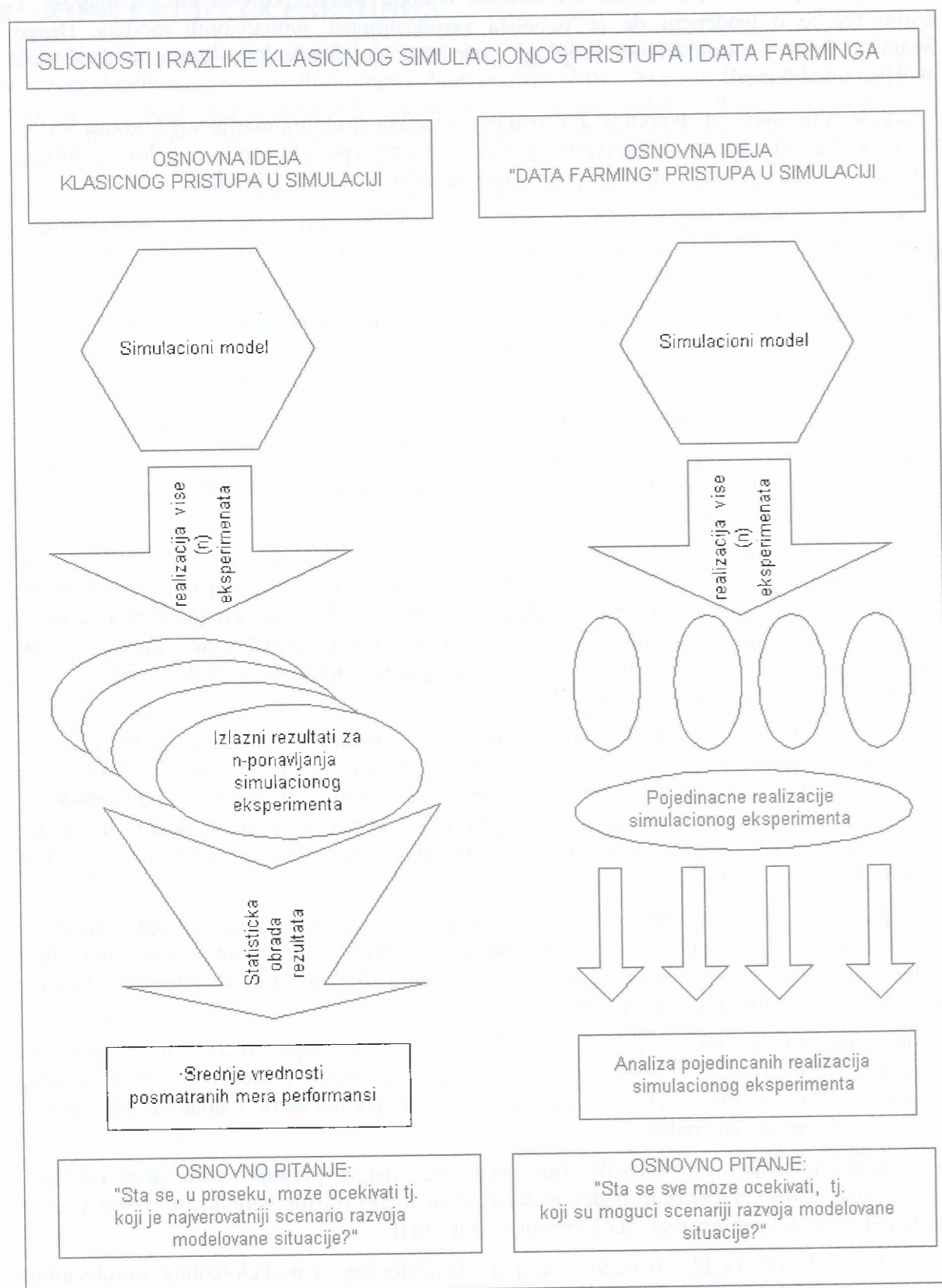
Cilj primene koncepta „data farminga“ nije, dakle nalaženje singularnog rešenja, već generisanje brojnog skupa različitih mogućih rešenja. Iz ove ideje o generisanju velikog broja izlaznih rezultata potiče i sam naziv koncepta: „uzgajanje, produkovanje, obezbeđenje, generisanje, itd. Na taj način se donosiocima odluke, putem brojnog skupa destilacija, predočava širi kontekst mogućih rešenja, umesto samo jednog rešenja koje bi imalo karakter srednje ili očekivane vrednosti.

Naravno, realni problemi koji se mogu rešiti drugim metodama egzaktno ili aproksimativno prirode, tako se i rešavaju. Koncept „data farminga“ se primenjuje u onim slučajevima gde je realni problem izuzetno složene prirode (ne obavezno i složene strukture) uz jako prisustvo slučajnih i nedovoljno predvidivih elemenata.

Realni problemi na koje se primenjuje koncept „data farminga“ (i za koje je upravo i razvijen), odlikuju se: nelinearnošću; neizvesnošću (nedovoljnim stepenom spoznaje zbog objektivne nemogućnosti merenja i procene vrednosti parametara); i dinamičkom vezama između strukturnih elemenata.

U razmatranju vojne problematike primenjuju se sledeći pristupi: ratne igre (vežbe i simulacione vežbe – računarski podržane vežbe); analitički pristup; simulacije (istraživačke); destilacije (kao izlazni rezultat „data farming“ koncepta).

Da bi lakše shvatili razliku između koncepta „data farming“ i tradicionalnog simulacionog pristupa (kao i drugih naučnih metoda), poslužićemo se ilustracijama (Slika 8.1.) i komentarom potencijalne forme odgovora u oba slučaja.



Slika 8.1. Sličnosti i razlike data farminga i klasičnog pristupa simulaciji

Tradicionalna simulacija (i druge metode) u tumačenju izlaznih rezultata, formuliše zaključne iskaze kao: "Srednja vrednost posmatrane mere performanse je "X", uz standardno odstupanje "S" sa nivoom statističkog poverenja "P". Koncept "data farminga" je potpuno drugačiji i potencijalni odgovor bio bi: "Modelovani proces može se razvijati na "Prvi, Drugi, ..." način, pri čemu će praćena mera performanse imati sledeće vrednosti "X1, X2, ...".

Predočavanje šireg skupa mogućih opcija je od izuzetne važnosti u vojnoj oblasti, posebno kada je reč o modelovanju oružane borbe. Razvoj događaja u mnogim realnim situacijama u vojnoj oblasti, često ne ide u pravcu koji je najverovatniji, već nastupa opcija koja je manje verovatna ili manje očekivana. Sa druge strane, dešava se da su komandanti opredeljeni ili prisiljeni da preduzimaju akcije koje imaju malo šanse za uspeh.

Šire posmatrano, koncept Data farminga je jedan od metoda za generisanje mogućeg skupa različitih scenarija, pri čemu se obezbeđuje i značajan nivo kvantifikacije. U tom smislu koncept Data farminga ima potencijal da se kombinovano primenjuje sa ostalim metodama za izradu scenarija, na primer sa morfološkom analizom koja je dominantno kvalitativnog karaktera (Stojković, 2008). O važnosti, potrebi i mogućnostima generisanja različitih scenarija za realne problemske situacije, potvrdu imamo i u novijoj domaćoj literaturi (videti: Kovač i Stojković, 2009).

Generisanje i razmatranje različitih scenarija je u osnovi svakog procesa odlučivanja, kao i svih nivoa odlučivanja. To je korak koji prethodi proceni situacije i daljim aktivnostima koje slede (planiranje, realizacija, kontrola), što je primenljivo i na nivou strategijskog odlučivanja (Kovač, 2008). Otuda, ovaj simulacioni koncept, u kombinaciji sa ostalim istraživačkim pristupima, kao što je morfološka analiza i drugi, može naći svoje mesto i na višim nivoima odlučivanja.

Dobar primer za ovaj fenomen je simulacija poznate bitke za Midvej iz drugog svetskog rata (leto 1942.godine, Pacifik, SAD i Japan). Ova vežba organizovana je u okviru projekta Albert i u 100 izvršenih pojedinačnih simulacija (destilacija) koje su se međusobno razlikovale samo u vrednosti generatora slučajnih brojeva Amerikanci su pobedili samo jednom. Mada se o validnosti simulacionog modela jedne ovako složene bitke kao što je bitka za Midvej može diskutovati, ipak je rezultat indikativan i u suštini opravdava i potvrđuje osnovnu ideju koncepta data farming.

## 9 ZAKLJUČAK

Dramatične promene na prelomu dvadestetog i dvadeset prvog veka u svim oblastima civilizacijskog razvoja neizostavno su obuhvatile i vojnu oblast i oružane i druge sukobe.

Fizionomija savremenog ratovanja, kao i priroda ostalih vidova angažovanja vojnih snaga, prolaze kroz period stalnih i velikih promena. Odatle proističe potreba istraživanja fizionomije savremenog rata. Simulaciono modelovanje je jedan od metodoloških pristupa u tom pravcu.

Težište je dato na detaljnijem prikazu mogućnosti primene simulacija u razmatranju koncepta "Swarming", kao jednog od mogućih konceptata organizovanja i delovanja vojnih jedinica u uslovima savremenog rata i njegovog okruženja. Osnovna ideja primene ovog koncepta sugerise mogućnost da se sa relativno manjim snagama opremljenim i osposobljenim za mrežno-centrično ratovanje, može poraziti jači neprijatelj. U aktuelnom širem društvenom i internacionalnom kontekstu, smanjenje vojnih efekativa je imperativ i globalni trend uzrokovan brojnim razlozima (međunarodni ugovori, ekonomska i demografska moć zemlje, itd.). Tada je logična težnja da se istraže sve mogućnosti povećanja efikasnosti i efektivnosti tako smanjenih vojnih snaga za realizaciju njihovih zakonom definisanih misija.

Date su osnovne napomene i o simulacionom konceptu "Data farming", i mogućnostima njegove dalje primene i razvoja u generisanju skupa različitih scenarija realnih problemskih situacija. Takođe, data je napomena o potencijalu ovog pristupa da se kombinovano primenjuje sa ostalim metodama, što je i jedan od mogućih pravaca narednih istraživanja.

Izlaganju ova dva koncepta primene simulacija prethodilo je upoznavanje sa osnovnim sadržajima i pojmovima o simulacionom modelovanju, kao i osvrt na karakteristike i fizionomiju savremenog rata i drugih oblika angažovanja vojske. Literatura za obe oblasti je relativno brojna, a navedeni su uglavnom osnovni izvori koji su bili raspoloživi. Ujedno, navođenje šireg spiska literature ima za cilj da čitaocima olakša dublje proučavanje izloženih sadržaja.

Ove delo realizovano je u kratkom periodu sa namerom da široj čitalačkoj publici prikaže osnovne sadržaje i mogućnosti primene simulacija u razmatranju novih problema vojnoj oblasti i time podstakne i proširi dalji rad i istraživanja. U tom smislu, ovaj korak je početak ka široj primeni i popularizaciji simulacione metodologije u istraživanju i rešavanju savremenih vojnih problema u Vojsci Srbije.

## 10 LITERATURA

- [1.] Alberts D., "Information Age Transformation: Getting to a 21st Century Military" Washington, DC: US Department of Defense, Command and Control Research Program, 2002; [http://www.dodccrp.org/files/Alberts\\_IAT.pdf](http://www.dodccrp.org/files/Alberts_IAT.pdf) (accessed 18 July 2008)
- [2.] Androttir S, et al, panel, "Analysis methodology: are we done?", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2005, pp.790-796
- [3.] Arquilla J., Ronfeldt D., "Swarming and the Future of Conflict", Rand Corporation, 1999
- [4.] Balci O., "Verification, validation, and certification of modeling and simulation applications", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2003, pp.150-158
- [5.] Banks J., and others, Panel: "The future of the simulation industry", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2003, pp.2033-2043
- [6.] Barahona F., I drugi, "Inventory allocation and transportation scheduling for logistics of network-centric military operations", IBM Journal of Research & Development, Vol.51, No. 3/4, 2007, pp.391-407
- [7.] Barton R., and others, Panel: "Simulation: past, present and future", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2003, pp.2044-2050
- [8.] Barton R., and others, Panel: "Simulation: past, present and future", Proceedings Winter Simulation Conference, December 2003, pp.2044-2050
- [9.] Basara M., "Sistem vrednosti kao činilac profesionalizacije vojske Srbije", Zbornik radova sa konferencije "Vojna profesija u Srbiji – stanje i perspektive", Institut za strategijska istraživanja, Beograd, 2009, str.16-27
- [10.] Bause F., Eickhoff M., "Truncation point estimation using multiple replications in parallel", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2003., pp.414-421
- [11.] Belyavin A., Fowles-Winkler A., "Subject variability and the effect of stress in discrete-event simulation", Proceedings, 15<sup>th</sup> European Simulation Symposium, Delft Holandija, 2003, str.615-620
- [12.] Berkowitz B., "The new face of war – How war will be fought in the 21<sup>st</sup> century", The Free Press, New York, 2003
- [13.] Bousquet A. "Chaoplectic warfare or the future of militray organization", International affairs, 84 (5), 2008, str.915-929
- [14.] Brandstein G.A., Horne E.G., "Data farming: a meta-technique for research in the 21<sup>st</sup> century", Maneuver Warfare Science, 1998, str.93-98
- [15.] Cowdale A, "Lessons identified from data collection for model validation", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2006, pp.1280-1285
- [16.] Čornakov P., „Uticaj promena u ratovodstvu na rukovođenje i komandovanje u operacijama“, simpozijum Teorijski i praktični aspekti savremenih operacija, Vojna akademija, Škola nacionalne odbrane, Beograd, 20.april 2004

- [17.] Davis P., Bankes C.S., Kahan P.J., „A new methodology for modeling national command level decisionmaking in war games and simulations“, RAND, Santa Monica, CA, USA, 1986
- [18.] Davis P., Bigelow J., „Experiments in multiresolution modeling“, RAND, USA, 1998
- [19.] Defence Modeling and Simulation Office, “DoD Modeling and simulation glossary”, DMSO, Alexandria, VA, 1997
- [20.] Defence Modeling and Simulation Office, “DoD Modeling and simulation (M&S) Verification, Validation, and Accreditation (VVA)”, Recommended practices guide, DMSO, Alexandria, VA, 1997
- [21.] Defense Logistics Agency, Logistics management Institute, “Focused Logistics”, LMI Library, 1997
- [22.] De Wijk R., “The implication for Force Transformation: The Small Country Perspective”, Chapter 6 in Transatlantic transformations: Equipping NATO for the 21st Century, edited by Daniel S. Hamilton, Washington, DC: Center for Transatlantic Relations, 2004, pp.115-146 (Marshal Center, paper copy No: #2730-E)
- [23.] Edwards J.S., “Swarming on the Battlefield – Past, Present and Future, Rand Corporation, 2000
- [24.] Edwards J. S., “Swarming and the future of warfare“, RAND, Santa Monica, CA USA, 2005
- [25.] Forca B., “Jedan primer u primeni simulacije procesa u borbenim sistemima”, Savremeni problemi ratne veštine, br.27, 1992, str.78-92
- [26.] Field Manual 25-4, “How to conduct training exercises”
- [27.] Gottfried B., “Elements of stochastic process simulation”, Prentice Hall, New Jersey, 1984
- [28.] Grupa autora, “Uvod u metodologiju ratne veštine”, CVŠ VJ Univerzitet VJ, Beograd, 1994
- [29.] Grupa autora GŠ JNA, “Protivoklopna borba u KoV”, studija, GŠ JNA, Beograd, 1985
- [30.] Grupa autora, “White paper: Simulation Operations- Role of the FA57”, The Simulation Operations Proponent Office, Headquarters Department of the Army, Pentagon, Washington, USA, 2004
- [31.] Henderson S., “Input model uncertainty: Why do we care and what should we do about it?”, Proceedings, Winter Simulation Conference, 2003, pp.90-100
- [32.] Henderson S; “Should we model dependence and nonstationarity, and if so how?”, Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2005, pp.120-12
- [33.] Hoad K, Robinson S, Davies R, “Automating DES output analysis: how many replications to run”, Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2007, pp.505-512
- [34.] Hoffman F., “Hybrid Threats: Reconceptualizing the evolving character of modern conflict”, Strategic Forum, Institute of National Strategic Studies, NDU, No. 240, April 2009, ([www.ndu.edu/inss](http://www.ndu.edu/inss))
- [35.] Hofmann M., “Component based military simulation: lessons learned with ground combat simulation systems”, Proceedings, 15<sup>th</sup> European Simulation Symposium, Delft, Holland, Oct. 2003, pp.608-614
- [36.] Horne G., Johnson S., (eds.), “Maneuver warfare science 2003“, US Marine Corps, Quantico, Virginia USA, 2003
- [37.] Horne G., Schwierz K.P., “Data farming around the world overview“, Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2008, pp.1442-1447
- [38.] Hughes T., Rolek E., “Fidelity and validity: issues of human behavioral representation requirements development”, Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2003, pp.976-982
- [39.] Isaacson A.J., Layne C., Arquilla J., “Predicting military innovation”, RAND, 1999
- [40.] Jakop Z., Tušek D., Hajsok M., “Simulacije u obuci i simulacijski modeli“, MO-GŠ ZZIO “Petar Zrinski“, Zagreb, Hrvatska, 2006
- [41.] Janković R., „Generator konflikata za simulator misije naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova 24. SYM-OP-IS, Beograd, 1997., str.607-610
- [42.] Janković R., „GPSS realizacija reakcione matrice za simulator misije naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova 25. SYM-OP-IS, Budva, 1998a
- [43.] Janković R., „Koncept naoružane mobilne platforme“, Vojno delo, br.3, 1998b, str. 81-96
- [44.] Janković R., „Reakciona matrica – novi koncept za uvođenje ekspertskih pravila odlučivanja u simulacione modele složenih vojnih sistema“, Naučnotehnički pregled, vol.L, br. 4-5, 2000, str. 9-17
- [45.] Janković R., „Metodologija za istraživanje i razvoj ugrađenih komandno-informacionih sistema“, Vojno delo, br. 4-5, 2001a
- [46.] Janković R., „Simulacioni model sukoba dve naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2001, Kopaonik, 2001b
- [47.] Janković R., „Pristup računarskoj simulaciji sukoba dve naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova 28. SYM-OP-IS, Beograd, 2001c
- [48.] Janković R., „Osnovni mehanizmi za simulaciju sukoba dve naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2002, Kopaonik, 2002a
- [49.] Janković R., „Simulacija uticaja orudja na sukob dve naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova 29. SYM-OP-IS, Tara, 2002b
- [50.] Janković R., „Pristup simulaciji postepenog uništenja pogodjene naoružane mobilne platforme“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2003, Kopaonik, 2003a
- [51.] Janković R., „Simulacija uticaja glavnog orudja na pouzdanost prvog pogotka u neočekivanom sukobu tenkova“, Zbornik radova 6. Medjunarodne konferencije UPRAVLJANJE KVALITETOM I POUZDANOŠĆU DQM-03, Beograd, 2003b
- [52.] Janković R., „Simulacija učinka dejstva glavnog orudja po protivničkom tenku“, Zbornik radova 30. SYM-OP-IS, Herceg Novi, 2003c
- [53.] Janković R., „Simulacija utroška municije glavnih orudja dva tenka u iznenadnom sukobu“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2004, Kopaonik, 2004a



- [54.] Janković R., „Simulacija utroška municije do prvog pogotka u sukobu dva tenka“, Zbornik radova 7. Medjunarodne konferencije UPRAVLJANJE KVALITETOM I POUZDANOŠĆU DQM-03, Beograd, 2004b
- [55.] Janković R., „Simulacija utroška municije glavnih orudja dva tenka u iznenadnom sukobu“, Zbornik radova 31. SYM-OP-IS, Fruška Gora, 2004c
- [56.] Janković R., „Computer Simulation of Two Armed Mobile Platforms Unexpected Conflict“, Scientific-Technical Review, Vol.LIV, No.1, 2004d, pp 3-16
- [57.] Janković R., „Simulacioni model AD HOC mreže za podršku grupnog komandno-informacionog sistema“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2005, Kopaonik, 2005a
- [58.] Janković R., „Simulacija pouzdanosti AD HOC mreže za grupni komandno-informacioni sistem“, Zbornik radova 8. Medjunarodne konferencije UPRAVLJANJE KVALITETOM I POUZDANOŠĆU DQM-04, Beograd, 2005b
- [59.] Janković R., „Simulacija AD HOC računarske mreže za komandno-informacioni sistem oklopnog bataljona“, Zbornik radova 32. SYM-OP-IS, Vrnjačka Banja, 2005c
- [60.] Janković R., „Simulacija dva algoritma pokretne mreže računara grupnog komandno-informacionog sistema“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2005, Kopaonik, 2006a
- [61.] Janković R., „Pristupi poboljšanju pouzdanosti pokretne mreže računara pokretnog C<sup>3</sup>I sistema“, Zbornik radova 9. Medjunarodne konferencije UPRAVLJANJE KVALITETOM I POUZDANOŠĆU DQM-05, Beograd, 2006b
- [62.] Janković R., „Simulacija poboljšanog algoritma računarske mreže za komandno-informacioni sistem oklopnog bataljona“, Zbornik radova 33. SYM-OP-IS, Vrnjačka Banja, 2006c
- [63.] Janković R., „Značaj dimenzija i faktora forme u simulaciji iznenadnog sukoba dva tenka“, Zbornik radova 34. SYM-OP-IS, Zlatibor, 2007a
- [64.] Janković R., „Istraživanje uticaja nekih aspekata modernizacije tenkova na uspešnost swarminga oklopnog bataljona“, naučnostručni skup Odbrambene tehnologije OTEH 2007, Beograd, 2007b
- [65.] Janković R., „Pristup računarskoj simulaciji swarminga oklopnog bataljona“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2008, Kopaonik, 2008a
- [66.] Janković R., „GPSS realizacija algoritma za swarming grupe naoružanih mobilnih platformi“, Zbornik radova 12. Medjunarodne konferencije ICDQM-08, Beograd, 2008b
- [67.] Janković R., „Simulator swarminga oklopnog bataljona“, Zbornik radova 35. SYM-OP-IS, Soko Banja, 2008c, str.463-466
- [68.] Janković R., „Računarska simulacija swarminga grupe naoružanih mobilnih platformi“, Zbornik radova simpozijuma YUINFO 2009, Kopaonik, 2009a
- [69.] Janković R., „Simulacija pouzdanosti swarminga grupe naoružanih mobilnih platformi“, Zbornik radova 13. Medjunarodne konferencije ICDQM-09, Beograd, 2009b
- [70.] Janković R., „Algoritmi za simulator swarminga oklopnog bataljona“, Zbornik radova 36. SYM-OP-IS, Ivanjica, 2009c

- [71.] Janković R., „Istraživanje uticaja nekih aspekata modernizacije tenkova na uspešnost taktike swarminga oklopnih jedinica“, Novi glasnik, br.1, januar-mart 2009d, str.37-48
- [72.] Janković R., „Računarska simulacija swarminga oklopnog bataljona“, naučnostručni skup Odbrambene tehnologije OTEH 2009, Beograd, 2009e
- [73.] Jovanović B., „Primena modela simulacije u istraživanju štabnog rada“, časopis Vojni Glasnik, br.1, 1982, str.62-70
- [74.] Kang K., Gue K., Eaton D., „Cycle time reduction for naval aviation depots“, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998, str.47-54
- [1] Klark Dž., „Uloge i misije evropskih vojnih i bezbednosnih snaga u 21.veku“, Evropski centar za studije bezbednosti Džordž K. Maršal, prevod, Beograd, 2005
- [75.] Kodžopeljić J., Milovanović R., „Izučavanje efektivnosti sistema tehničkog obezbeđenja u ONOR“, časopis Vojnotehnički glasnik, br.1, 1980, str.5-13
- [76.] Kolmer Z., „Informacija kao ključni resurs: uticaj RVP i Mrežnacentričnih operacija na Transformaciju nemačkih oružanih snaga“, Evropski centar za studije bezbednosti, prevod, Udruženje diplomaca centra Džordž K. Maršal, Beograd, 2007
- [77.] Kovač M., Jeremić Z., „Modelovanje dinamike borbe protivoklopnih helikoptera i oklopnih jedinica“, časopis Novi Glasnik, br.5, septembar-oktobar 2001, str.5-12
- [78.] Kovač M., „Značaj strategijske procene u procesu strategijskog planiranja“, 35.SYMOPIS, Soko Banja, 2008, str.495-498
- [79.] Kovač M., Stojković D., „Strategijsko planiranje odbrane“, VIZ, Beograd, 2009
- [80.] Krahl D., „Debugging simulation models“, Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2005, pp.62-68
- [81.] Kun T., „Struktura naučnih revolucija“, (prevod) NOLIT, Beograd, 1974.
- [82.] Law A., Kelton D., „Simulation modeling and analysis“, McGraw Hill, New York, 1982.
- [83.] Law A., „Statistical analysis of simulation output data: the practical state of the art“, Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2007, pp.77-83
- [84.] Lopez F., „The FA57 Officer Current and Future Force“, Simulation Operations Quarterly, Vol.1, No3., 2004, str. 22
- [85.] Mahon T., „Nordic neighbours“, Training & Simulation Journal, August/September Vol.7, No.4, 2006, str.32-35
- [86.] Marković D., „Priprema operacije kao oblika borbenih dejstava“, Novi Glasnik, br.3-4, maj-avgust 2000, str.19-22
- [87.] Mazarr J.M., „The revolution in military affairs: a framework for defense planning“, Strategic Studies Institute, 1994
- [88.] Mc Michael H.W., „Model response: high-tech tools prepare agencies for catastrophe“, Training & Simulation Journal Vol.8, No.1, 2007, str.42
- [89.] Meltzer M., „Maxi-Vac 1.0“, manual, Center for Disease Control and Prevention, US Department of Health and Human Services, Atlanta, GA, USA, 2005
- [90.] Milinović M., Dodić N., „Modeliranje sistema upravljanja vatrom i praćenja vazdušnih ciljeva“, Mašinski fakultet, Beograd, 2002

- [91.] Mićović B., "Simulacija evakuacije ranjenika", Zbornik radova 25. SYM-OP-IS, Beograd, 1998, str.1025-1028
- [92.] Min F., Ma P., Yang M., "A knowledge -based method for the validation of military simulation", Proceedings, Winter Simulation Conference, 2007., pp. 1395-1402
- [93.] Moon I., Schneider M., Carley K., "Evolution of player skill in the America's Army game", Simulation, Vol.82, No.11, novembar 2006, str.703-718
- [94.] Moon T., „Net-centric or networked military operations?“, Defense & Security Analysis, Vol.23, No.1, 2007, str.55-67
- [95.] Moores B., "Training services -key to European growth", Training & Simulation Journal, April/May Vol. 5, No.2, 2004, str.16-18
- [96.] Ministarstvo odbrane RS, „Strategijski pregled odbrane“, Beograd, 2009 ([www.mod.gov.rs](http://www.mod.gov.rs))
- [97.] NATO Glossary of Abbreviations, AAP-15 (2005), ([www.nato.int](http://www.nato.int))
- [98.] Nikolić N., "Uticaj parametara boja na tehničko obezbeđenje u oklopnoj brigadi", magistarski rad, GŠ VJ Sektor ŠONID, VTA VJ, Beograd, maj 2000
- [99.] Nikolić N., „Nedostaci matematičkih modela teorije masovnog opsluživanja u vojnim primenama“, Zbornik radova 30. SYM-OP-IS, Herceg-Novi, 2003, str.745-748
- [100.] Nikolic N., "Limitations of theoretical and commonly used simulation approaches in considering military queueing systems", Proceedings, 15<sup>th</sup> European Simulation Symposium, Delft, Holland, Oct. 2003, pp.602-607
- [101.] Nikolic N., "Fidelity in studying of military queueing systems", European Simulation Interoperability Workshop 2004, Edinburg, July 2004. ([www.sisostds.org](http://www.sisostds.org))
- [102.] Nikolić N., "Istraživanje modela i metoda masovnog opsluživanja za primenu u vojnim procesima", doktorska disertacija, Vojna Akademija, Beograd, Jun 2005
- [103.] Nikolić N, Radoncic H, "Operations Research applications in UN missions", Proceedings, 33.SYM-OP-IS, 2006, pp.593-596
- [104.] Nikolić N., "Razvoj centra za simulacije", projekat, Vojna akademija, Beograd, int.br.1414-1, jun 2006
- [105.] Nikolić N., "Uvod u primenu simulacionih tehnologija u vojnoj oblasti", Novi Glasnik, br.1, januar-mart 2007, str.57-66
- [106.] Nikolic N, "Praktični aspekti prelaznog režima rada sistema masovnog opsluživanja" Vojnotehnički glasnik, br.4, oktobar-decembar 2007, str.429-440
- [107.] Nikolić N, "Statistical integration of Erlang's equations", European Journal of Operational Research, Vol.187, Issue 3, 16 June 2008a, pp.1487-1493
- [108.] Nikolić N., "Monte Carlo Modeling of Military Queueing Systems – Challenge of the Initial Transience", monografija na engleskom jeziku, Zadužbina Andrejević i Institut za strategijska istraživanja, 2008b ([www.zandrejevic.rs](http://www.zandrejevic.rs))
- [109.] Nikolić N, "Modeling and analysis of overloaded queueing systems in UN missions", Proceedings, 36.SYM-OP-IS, 2009, pp.515-518

- [110.] Odoni A., Ruth E., "An Emirical Investigation of the Transient Behavior of Stationary Queueing Systems", Operations Research, Vol.31, No3, maj-jun 1983, str.432-455
- [111.] Page E., Smith R., "Introduction to military training simulation: a guide for discrete event simulationists", Proceedings, Winter Simulation Conference, 1998, pp.53-60
- [112.] Pantić T., "Mogućnost primene metoda teorije masovnog opsluživanja u opsluživanju nadzvučne avijacijske eskadrile", Vojnotehnički Glasnik, VIZ, Beograd, br.6, 2002, str.612-622
- [113.] Pawlikowski K., "Steady-State Simulation of Queueing Processes: A Survey of Problems and Solutions", ACM Computing Surveys, Vol.22, No2, jun 1990, str.123-171
- [114.] Pawlikowski K., Jeong H.D.J., Ruth Lee J.S., "On credibility of simulation studies of telecommunication networks", IEEE Communications Magazine, januar 2002, str.132-139
- [115.] Perry L.W., Moffat J., "Information sharing among military headquarters – The effects on Decisionmaking", RAND, 2004
- [116.] Petrović R., "Optimizacija redundantnih sistema", Saobraćajni fakultet, Beograd, 1993
- [117.] Petrović R., "Osvrt na mogućnost primene matematički orijentisanih teorija u istraživanju sistema tehničkog obezbeđenja", Vojnotehnički glasnik, br.4, 1980, str.422-425
- [118.] Popadić B., "Bojno gađanje posadom tenka u napadu", Vojno delo 6/89, VIZ, Beograd, 1989, str.23-28
- [119.] Pravilo, "Net-centric operational environment, Joint integrating concept", Joint Chiefs of Staff, Washington, D.C., SAD, 2005
- [120.] Pravilo, "Tenkovska četa, vod, tenk", SSNO, Beograd, 1978
- [121.] Pravilo, "Oklopni bataljon", SSNO, Beograd,
- [122.] Pravilo, "Oklopna i mehanizovana brigada", SSNO, Beograd, 1976
- [123.] Pravilo, "Odeljenje, vod i četa tehničkog snabdevanja-održavanja, upotreba i rad", TU SSNO, Beograd, 1978
- [124.] Pravilo, "Tenk M-84 i T-72", prvi i drugi deo, SSNO, Beograd, 1988
- [125.] "Priručnik za rezervne oficire rodova KoV", SSNO, Beograd, 1974
- [126.] Radenković B., Stanojević M., Marković A. "Računarska simulacija", FON, Beograd, 1999
- [127.] Sadananda Upadhya K., Srinivasan N.K., "Availability of weapon systems with logistic delays: a simulation approach", Internatioanl Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 10, No.4, 2003, pp.429-443
- [128.] Sakan M., "Hipoteze u vojnim naukama", SŠONID, VA VJ, Beograd, 2001
- [129.] Sanchez J.P, "Fundamentals of simulation modeling", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2007, pp.54-62
- [130.] Sargent R. et al, Panel: "Strategic directions in verification, validation, and accreditation research", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2000, pp.909-916

- [131.] Sargent R. "Verification and validation of simulation models", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2003, pp.37-48
- [132.] Schriber T., Brunner D., "Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters", Proceedings, Winter Simulation Conference, December 2000, pp.90-100
- [133.] Schriber T., "Simulation using GPSS", John Wiley & Sons, New York, 1978
- [134.] Schott R. i drugi, "Medium caliber cannon lethality study for future and current infantry fighting vehicles", Proceedings, Winter Simulation Conference, 2004, str.1010-1016
- [135.] Schrage M., "Perfect Information and perverse incentives: Cost and consequences of transformation and transparency", MIT, Strategic Studies Programme, Working paper, May 2003
- [136.] Smith R., "Analytical computer simulation of a complete battlefield environment", SIMULATION, Vol.58, No1, 1992, str.7-16
- [137.] Smith D.R., "Essential techniques for military modeling & simulation", Proceedings, Winter Simulation Conference, 1998, str.805-812
- [138.] Sobolj I.M., "Metoda Monte Karlo", Nauka, Moskva, 1978, (Prevod sa ruskog, Mitić Žarko, Katedra saobraćaja i transporta, Tehnička Vojna Akademija, Zagreb, 1980)
- [139.] Stojiljković M., Vukadinović S., "Operaciona istraživanja", VIZ, Beograd, 1984
- [140.] Stojković D., "Primena morfološke analize u razvoju scenarija", 35.SYMOPIS, Soko Banja, 2008, str.459-462
- [141.] Tatum M.A., "STORM-a Digital Synthetic Environment. Supporting Operation Iraqi Freedom Testing and Training", Simulation Operations Quarterly, Vol.1, No3., 2004, str.18-19
- [142.] Tehničko uputstvo, "Tenk T-55", knjiga 1, SSNO TU, Beograd, 1979
- [143.] Thorne M., "Protivoklopna borba u savremenim uslovima OS Velike Britanije", materijal sa predavanja u GŠ JNA, SSNO GŠ, Beograd, 1981
- [144.] Sadananda Upadhya K., Srinivasan K.N., "Availability of weapon system with logistic delays: a simulation approach", International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol.10, No.4, 2003, pp. 429-443
- [145.] U.S. Army, FM 63-21 Main support battalion.
- [146.] U.S. Army, FM 63-1 Combat service support operations - Separate Brigade.
- [147.] U.S. Army, FM 63-2 Combat service support operations - Division.
- [148.] U.S. Army, FM 63-3 Combat service support operations - Corps.
- [149.] U.S. Army, FM 63-5 Combat service support operations - Theater Army.
- [150.] U.S. Army, AR 750-1 Army materiel maintenance concepts and polices.
- [151.] U.S. Army, TM 38-750 The Army maintenance management system.
- [152.] U.S. Army, MIL-STD 1390A Level of repair.
- [153.] U.S. Army Command and General-Staff College: "Fundamentals of combat service support".

- [154.] Valles-Rosales J.D, Fugua D, "Optimizing Logistics through Operations Research", Army Logistician, Vol.39, Issue 1, January-February 2007
- [155.] Vujanović N., "Teorija pouzdanosti tehničkih sistema", VINC, Beograd, 1990
- [156.] Vujošević M., "Operaciona istraživanja-izabrana poglavlja", Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 1999
- [157.] Vukadinović S., "Masovno opsluživanje", Naučna knjiga, Beograd, 1988
- [158.] Vukadinović S., "Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike", Privredni pregled, Beograd, 1990
- [159.] Vukadinović S., Popović J., "Slučajni procesi i njihova primena u saobraćaju i transportu", IRO Građevinska Knjiga, Beograd, 1989
- [160.] Vukadinović S., Popović J., "Metoda Monte Karlo", Saobraćajni fakultet, Beograd, 1977
- [161.] Washington M., Mason J., Meltzer M., „Maxi-Vac: Planning Mass Smallpox Vaccination Clinics“, Journal of Public Health Management Practice, 11(6), 2005, str.542-549
- [162.] Zahn R.B., "The future combat system: Minimizing risk while maximizing capability", USAWC Strategy Research Project, Working paper 00-2, 2000

## BIOGRAFIJE AUTORA

Dr RADOMIR JANKOVIĆ, dipl. inž., naučni savetnik Vojnotehničkog instituta, docent Računarskog fakulteta, pukovnik u penziji, rođen je 17. septembra 1947. godine u Valjevu, Srbija. Osnovnu školu "I.G.Kovačić" završio je u Beogradu, 1963. godine. Šestu beogradsku gimnaziju završio je u Beogradu, 1966. godine (nagrada "Mihajlo Petrović Alas" za fiziku). Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu završio je 1972. godine, na Odseku za elektroniku, diplomski rad "RAČUNARSKA SIMULACIJA DISKRETNIH SISTEMA".

Prva magistratura tehničkih nauka: na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, 1977. godine, magistarska teza "DIGITALNA SIMULACIJA INFORMACIONOG CENTRA".

Druga magistratura tehničkih nauka: 1979. godine na ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNIQUES AVANCEES (E.N.S.T.A.) u Parizu, Francuska, magistarska teza "CODAGE DE PHASE, ETUDE DE CODES ET SOUS-SYSTEME DE TELEMETRIE D'UN RADAR MULTIFONCTION A COMPRESSION D'IMPULSIONS" ("Kodiranje faze, studija kodova i podsistem za merenje daljine jednog višenamenskog radara sa kompresijom impulsa").

Doktorsku disertaciju "MULTIMIKROPROCESORSKI RAČUNARSKI SISTEM ZA TRANSAKCIJONU OBRADU PORUKA U REALNOM VREMENU" odbranio je 1987. godine, na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu.

Komandno-štabnu akademiju KoV završio je 1983. godine u Beogradu (diplomski rad: "HIJERARHIJSKI DISTRIBUIRANI INFORMACIONI SISTEM ZA POTREBE CENTRA VISOKIH VOJNIH ŠKOLA").

Dva kursa za stručno usavršavanje u organizaciji E.N.S.T.A. u Parizu, Francuska, završio je 1985. i 1989. godine.

1973. godine, stupio je u aktivnu vojnu službu i raspoređen je na rad u Vojnotehnički institut, gde je do 2005. godine radio na istraživanju i razvoju u računarstvu i složenim elektronskim sistemima za vojne primene. Od 1973. do 2005. godine bio je na dužnostima mlađeg istraživača, istraživača saradnika, samostalnog istraživača, načelnika odseka, načelnika odeljenja i načelnika Sektora za senzore, računare i elektroenergetiku VTI.

1988. godine izabran je u naučno zvanje NAUČNI SARADNIK i za člana Naučnog veća Vojnotehničkog instituta. 1994. godine izabran je u naučno zvanje VIŠI NAUČNI SARADNIK u VTI. 2000. godine izabran je u naučno zvanje NAUČNI SAVETNIK u VTI. 2000. godine izabran je za predsednika Naučnog veća Vojnotehničkog instituta. 2004. godine ponovo je izabran za predsednika Naučnog veća Vojnotehničkog instituta.

Za svoj rad u Vojnotehničkom institutu, četiri puta je odlikovan, šest puta pohvaljen i tri puta nagrađen.

Od početka školske 2005/2006 godine, izabran je u zvanje i radi na Računarskom fakultetu Univerziteta Union u Beogradu kao docent za predmete *Uvod u organizaciju računara, Arhitektura računara, Kritični i sigurnosni sistemi i Modelovanje i simulacija*.

Govori, čita, piše i prevodi: engleski i francuski jezik.

Član je stručnog udruženja A.S.I.T.A. (Association des Ingénieurs de Techniques Avancées), u Parizu.

Bio je član redakcije, recenzent i član izdavačkog saveta naučnostručnog časopisa "Naučnotehnički pregled" i član redakcije opštevojnog teoretskog časopisa "Vojno delo".

Pukovnik NIKOLIĆ dr NEBOJŠA, dipl.inž., rođen je 11.decembra 1964.godine u Lebanu, Srbija. Završio Vojnotehničku akademiju u Zagrebu 1988.godine kao najbolji u klasi.

Prvi deo oficirske karijere započinje u garnizonu Senta na različitim trupnim dužnostima: komandir voda i čete; referent za operativno-nastavne poslove; referent za organizacijsko-mobilizacijske, garnizone i personalne poslove. Devetu godinu službe provodi na dužnosti zamenika komandanta bataljona remontne podrške, u Beogradu.

Nakon toga je asistent i docent na Vojnoj akademiji u Beogradu, za predmet Taktika tehničke službe. Tokom ratova obavljao je dužnosti načelnika tehničke službe pešadijske i artiljerijske brigade.

Od 2007.godine, radi u Institutu za strategijska istraživanja.

Sa simulacionim modelovanjem i njegovom primenom u vojnoj oblasti sreće se tokom magistarskih studija.

Magistrirao na temu „Uticaj parametara boja na tehničko obezbeđenje u oklopnoj brigadi“, 2000.godine, pod mentorstvom pukovnika profesora dr Radovana Maksića.

Doktorat pod naslovom „Istraživanje modela i metoda masovnog opsluživanja za primenu u vojnim procesima“, odbranio 2005.godine pod mentorstvom profesora dr Radivoja Petrovića.

Tokom 2006.godine završio je kurs za štabne oficire Ujedinjenih Nacija u švedskom centru za obuku SWEDINT.

Tokom 2008.godine završio je tromesečni kurs Viših studija bezbednosti u Evropskom centru za studije bezbednosti „Džordž Maršal“.

Ukupan opus pisanih radova obuhvata više desetina referenci: članci, studije, projekti, udžbenik i monografija, od kojih je većina posvećena problematici simulacionog modelovanja.

Nekoliko radova prihvaćeno na međunarodnim konferencijama o simulaciji. Jedan rad je objavljen 2008.godine u vrhunskom međunarodnom naučnom časopisu za Operaciona istraživanja: European Journal of Operational Research.

BIOGRAFUS AUTORA

CIP - Каталогизacija u publikaciji  
Nародна библиотека Србије, Београд

355.5

**ЈАНКОВИЋ, Радомир, 1947-**

Primene simulacija u proučavanju  
fizionomije savremenog rata / Radomir  
Janković, Nebojša Nikolić. - Beograd :  
Institut za strategijska istraživanja, 2009  
(Beograd : Vojna štamparija). - 137 str. :  
ilustr. ; 21 cm

Tiraž 100. - Biografije autora: str. 136-137.  
- Bibliografija: str. 127-135.

ISBN 978-86-81121-05-4

1. Николић, Небојша, 1964- [аутор]

а) Рат - Симулација

COBISS.SR-ID 171019788

