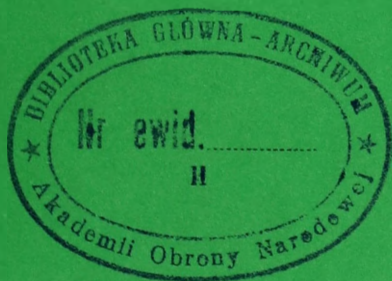


# AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

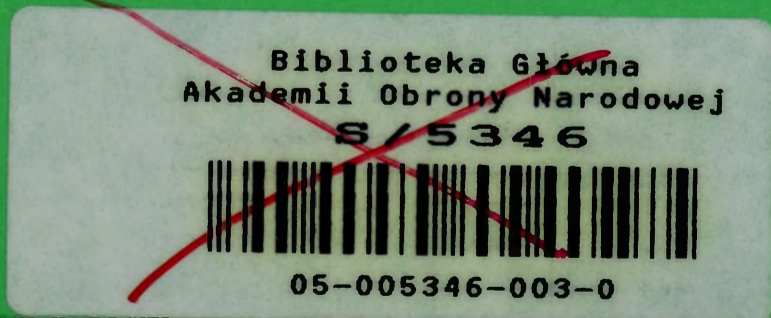
CENTRUM INFORMATYKI

## SYMULACYJNY MODEL WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Synteza koncepcji symulacyjnego modelu walki



65257



WARSZAWA

2002



# AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

---

CENTRUM INFORMATYKI

## SYMULACYJNY MODEL WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Synteza koncepcji symulacyjnego modelu walki



płk dr inż. Maciej RATAJCZAK

płk dr inż. Ryszard WIELEBA

ppłk dr inż. Janusz WOCIAL

**MODELOWANIE-2**

7.2.2.0

---

WARSZAWA



2002

Pracę naukowo-badawczą **SYMULACYJNY MODEL WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM** pk. **MODELOWANIE-2** wykonał zespół pracowników naukowo-badawczych pod kierownictwem płk dr inż. Macieja RATAJCZAKA w składzie:

- płk dr inż. Ryszard WIELEBA
- ppłk dr inż. Janusz WOCIAL

Poszczególni członkowie zespołu opracowali

- płk dr inż. Maciej RATAJCZAK                      Rozdział 2, 4- współudział;
- płk dr inż. Ryszard WIELEBA                      Rozdział 1, 4- współudział;
- ppłk dr inż. Janusz WOCIAL                        Rozdział 3, 4- współudział.

Temat opracowany został zgodnie z „Planem prac naukowych na rok 2002 (poz. 7.2.2.0 – kryptonim **MODELOWANIE-2**).

**Opracowanie stanowi drugi i zarazem ostatni etap prac dotyczących opracowania SYMULACYJNEGO MODELU WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM.**

Autorzy opracowania od kilkunastu lat specjalizują się w problematyce modelowania działań bojowych, walki, operacji, kampanii i wojny. Są autorami wielu konceptualizacji modeli walki (na różnych szczeblach dowodzenia) do poziomu projektu koncepcyjnego, a także implementacji projektu do poziomu systemu komputerowego.

Jednocześnie autorzy uczestniczą w przygotowaniu i przeprowadzeniu ćwiczeń dowódczo – sztabowych realizowanych w AON. Doświadczenia tu nabyte umożliwiają zidentyfikować operacyjne i taktyczne wymagania jakie konceptualizowany model spełniać powinien, a także dookreślić formę ujęcia modelu (interfejs użytkownika) przyjazny użytkownikowi (aspekty dydaktyczne).

Powyżej nakreślona wiedza naukowa (metodyczna i merytoryczna) a także doświadczenie empiryczne (potrzeby i oczekiwania autorów ćwiczeń i studentów) upoważniają zespół autorski do podjęcia powyższego problemu do naukowej refleksji.

Przedstawiane opracowanie zawiera syntezę problemów, które autorzy poddali analizie problemowej w aspekcie maksymalizacji adekwatności konceptualizowanego symulacyjnego modelu walki szczebla taktycznego do rzeczywistych procesów walki - z jednej strony oraz w aspekcie zadośćuczynienia oczekiwaniom uczestników ćwiczeń wspomaganych komputerowo - z drugiej strony. Wnioski dotyczą syntezy modeli symulacyjnych. Po przedstawieniu najważniejszych modeli symulacyjnych funkcjonujących w różnych armiach dokonano ich syntezy w aspekcie funkcjonalnym (użytkowym) oraz informatycznym (koncepcyjno - projektowym). Pozyskana wiedza umożliwiła autorom dokonać konceptualizacji symulacyjnego modelu walki. Jądrzem modelu symulacyjnego jest jednak matematyczny model walki. Dlatego niezbędna stała się głębsza refleksja tego problemu i dokonanie jej syntezy. W efekcie po przedstawieniu podstawowej teorii matematycznych modeli walki możliwa stała się konceptualizacja autorskiego ujęcia matematycznego modelu symulacyjnego walki na szczeblu taktycznym.

# Spis treści

<b>SPIS TREŚCI</b> .....	<b>3</b>
<b>WPROWADZENIE</b> .....	<b>5</b>
<b>1. SYNTEZA SYMULACYJNYCH MODELI WALKI</b> .....	<b>7</b>
1.1. SYMULACYJNE MODELE WALKI FUNKCJONUJĄCE W SZ NATO .....	7
1.1.1. <i>MODEL-5</i> .....	7
1.1.2. <i>JANUS</i> .....	15
1.1.3. <i>oneSAF</i> .....	16
1.1.4. <i>BBS</i> .....	17
1.1.5. <i>CBS</i> .....	18
1.1.6. <i>CORA</i> .....	33
1.1.7. <i>SimoF</i> .....	40
1.1.8. <i>ABS2000</i> .....	42
1.1.9. <i>JTLS</i> .....	53
1.2. SYNTEZA REALNYCH MODELI WALKI .....	60
1.3. ZASTOSOWANIE SYMULACYJNYCH MODELI WALKI W ĆWICZENIACH TYPU CAX .....	63
1.3.1. <i>Typowy scenariusz ćwiczenia dowódczo – sztabowego</i> .....	63
1.3.2. <i>Zadania systemu informatycznego wspomaganie ćwiczeń typu CAX</i> .....	67
<b>2. KONCEPCJA MODELU SYMULACYJNEGO WALKI</b> .....	<b>69</b>
2.1. ZAŁOŻENIA NA SYSTEM I OGRANICZENIA MODELU SYMULACYJNEGO WALKI .....	69
2.1. OGÓLNA KONCEPCJA MODELU WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM .....	73
<b>3. TEORIA MATEMATYCZNYCH MODELI WALKI</b> .....	<b>83</b>
3.1. MODEL ANALITYCZNY .....	84
3.2. MODELE WALKI LANCHESTERA .....	88
3.2.1. <i>Klasyczny model walki Lanchestera</i> .....	88
3.2.2. <i>Zmodyfikowany model walki Lanchestera</i> .....	90
3.2.3. <i>Optymalizacyjny model walki Lanchestera</i> .....	92
3.2.4. <i>Rozszerzenia modeli Lanchestera</i> .....	96
3.3. SYNTEZA MATEMATYCZNYCH MODELI WALKI .....	97

<b>4. PROPOZYCJA MATEMATYCZNEGO MODELU WALKI.....</b>	<b>99</b>
4.1. OPIS STRON .....	99
4.1.1. <i>Potencjały i stan stron.....</i>	<i>99</i>
4.1.2. <i>Przykładowa metoda ustalania potencjałów stron. ....</i>	<i>102</i>
4.2. OPIS TERENU .....	109
4.3. OPIS ŚRODKÓW WALKI .....	110
4.4. OPIS DECYZJI STRON.....	111
4.4.1. <i>Decyzje szczebla nadrzednego .....</i>	<i>111</i>
4.4.2. <i>Decyzje jednostek stron.....</i>	<i>116</i>
4.5. MODEL ODDZIAŁYWANIA OGNIOWEGO .....	118
4.5.1. <i>Model bez uwzględnienia wsparcia i wzmocnienia .....</i>	<i>118</i>
4.5.2. <i>Model oddziaływania ogniowego sił wsparcia i wzmocnienia .....</i>	<i>121</i>
<b>ZAKOŃCZENIE.....</b>	<b>127</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>128</b>

## Wprowadzenie

Jednym z wyznaczników nowoczesności armii, a co za tym idzie poziomu techniczno - technologicznego państwa jest stosowanie najnowszych technik symulacyjnych w różnych dziedzinach szkolenia wojsk i w badaniach naukowych. Jednak niewiele państw posiada własne systemy symulacji komputerowej walki zbrojnej. W państwach NATO najwięcej tego typu systemów powstaje w USA, gdzie najwcześniej rozpoczęto prace w tej dziedzinie i gdzie wiele poważnych firm konkuruje o zamówienia z sektora wojskowego. W armiach innych państw realizowane są własnej „produkcji” systemy, albo wykorzystywane są systemy, najczęściej amerykańskie.

Uświadomią już prawdą jest, że szkolenie z wykorzystaniem nowoczesnych technik (w tym również symulatorów, trenażerów, poligonów laserowych itp.) jest wielokrotnie tańsze i efektywniejsze od szkolenia tradycyjnego. Szczególnie kosztowne są ćwiczenia z wyprowadzeniem wojsk na poligon, oraz prowadzeniem strzelań ostrą amunicją. Oczywiście są one również potrzebne ale stanowić powinny ukoronowanie cyklu szkoleń na trenażerach itp. Doskonalenie umiejętności dowódców i oficerów sztabu, a szczególnie studentów akademii wojskowych, w zakresie procedur związanych z planowaniem działań oraz w zakresie dowodzenia wojskami jest możliwe przez wykorzystanie systemów symulacji komputerowej. Przy czym systemy te zapewniają w coraz większym stopniu realizm sytuacji bojowej, środowiska geograficzno – topograficznego oraz zdarzeń i procesów zachodzących na polu walki.

Podstawą komputerowych systemów są modele symulacyjne odwzorowujące procesy wzajemnego rażenia (oddziaływania) i procesy wewnętrzne: dowodzenia, zabezpieczenia (bojowego i logistycznego), wsparcia, a ponadto proces dynamiki pola walki w realnym środowisku (warunkach terenowych i meteorologicznych) w realiach czasowych. Modele symulacyjne generują zdarzenia, nowe sytuacje i zachowania wojsk zgodne z zasadami taktyki i sztuki walki. Odzwierciedlają skutki podejmowanych decyzji przez ćwiczące sztaby i stwarzają im nowe wyzwania. Ćwiczący muszą reagować na rozwój sytuacji, a każdy błąd, brak wyobraźni czy zła ocena działań przeciwnika, przynosi wymierne efekty. System w sposób obiektywny i bezstronny przedstawi wynik walki niezależnie od stosunku oceniającego do ocenianego.

Przedstawione opracowanie jest efektem dotychczasowych doświadczeń i badań autorów w problemie konceptualizacji, projektowania i implementacji komputerowego systemu symulacji walki zbrojnej. Stanowi przyczynek do realizacji narodowej wersji systemu symulacji walki na szczeblu taktycznym.

Opracowanie składa się z wprowadzenia, czterech rozdziałów merytorycznych, zakończenia i bibliografii.

Rozdział pierwszy dotyczy syntezy wybranych symulacyjnych modeli walki funkcjonujących w siłach zbrojnych państw NATO. W rozdziale drugim przedstawiono koncepcję symulacyjnego modelu walki w systemach wspomagania ćwiczeń. Rozdział trzeci poświęcony został matematycznym modelom walki stosowanym w symulacyjnych modelach. Rozdział czwarty zawiera propozycję matematycznego modelu walki na szczeblu taktycznym.

# 1. SYNTEZA SYMULACYJNYCH MODELI WALKI.

## 1.1. Symulacyjne modele walki funkcjonujące w SZ NATO

W procesie realizacji ćwiczeń dowódczo – sztabowych (np. przeprowadzanych w AON, choć nie tylko) w klasie CAX, warunkiem koniecznym jest korzystanie z komputerowych systemów wspomagania. W każdym z trzech etapów takich ćwiczeń, tj.: przygotowania, przeprowadzenia i omówienia można i należy stosować odpowiednie środki informatyki, standardowe i specjalizowane informatyczne systemy wspomagania. Jądem systemu wspomagania jakiegokolwiek klasy mogącym mieć zastosowanie w tych etapach są **symulacyjne modele walki**. W serii eksperymentów symulacyjnych pozwalają one: (1) zespołowi autor-skiemu ćwiczenia - opracować stosowną (i zrównoważoną dla stron) sytuację operacyjną (taktyczną), (2) kierownikowi ćwiczenia – uzyskać właściwe wyniki walki w zespołach podgrywających, (3) oceniającemu – obiektywnie ocenić zasadność decyzji podjętych przez ćwiczących.

Aby mieć właściwy pogląd na użyteczność (najważniejszych) realnych modeli symulacyjnych funkcjonujących w różnych armiach świata, a zaprojektowanych i zaimplementowanych przez niejednokrotnie potężne firmy *software*'owe, przedstawiamy poniżej krótką ich charakterystykę. Staraliśmy się, aby opis tych systemów wspomagania dotyczył *konceptji* oraz *istoty symulacji*. W efekcie wybrane systemy wspomagania ćwiczeń dowódczo - sztabowych przedstawione zostały w następującym układzie:

- Ogólna charakterystyka systemu;
- Konceptcja prowadzenia symulacji, w tym zastosowane rozwiązania matematycznych modeli walki (na ile było to możliwe);
- Model terenu i otoczenia.

### 1.1.1. MODEL-5

Symulacyjny model walki **MODEL-5** [15] jest system walki zbrojnej wojsk lądowych dwóch przeciwstawnych stron (umownie nazywanych w systemie „**NIEBIESCY**” i „**CZERWONI**”) wspieranych uderzeniami lotnictwa i śmigłowców bojowych.. Oznacza to, że system w symulacji bitwy (walki) bierze pod uwagę działania bojowe **związków operacyjnych - ZO, związków taktycznych - ZT, oddziałów** wojsk lądowych oraz uderzenia grup

lotnictwa szturmowego i śmigłowców bojowych na korzyść wojsk lądowych obu stron konfliktu, uwzględniając wpływ warunków terenowych na przebieg działań bojowych. ZO, ZT i oddziały stanowią w systemie obiekty, którymi operator może się posługiwać podczas eksperymentu symulacyjnego.

#### **1.1.1.1. Koncepcja symulacji**

W systemie "MODEL-5" odwzorowano przede wszystkim podsystem walki zbrojnej wojsk lądowych dwóch przeciwstawnych stron (umownie nazywanych w systemie "NIEBIESCY" i "CZERWONI") wspieranych uderzeniami lotnictwa i śmigłowców bojowych oraz wpływ warunków terenowych na przebieg działań bojowych. Oznacza to, że system w symulacji bitwy (walki) bierze pod uwagę działania bojowe związków operacyjnych - ZO, związków taktycznych - ZT, oddziałów wojsk lądowych oraz uderzenia grup lotnictwa szturmowego i śmigłowców bojowych na korzyść wojsk lądowych obu stron konfliktu. ZO, ZT i oddziały stanowią w systemie obiekty, którymi operator może się posługiwać podczas eksperymentu symulacyjnego.

Koncepcja symulacji w Modelu-5 została oparta o następujące założenia:

- walka zbrojna jest prowadzona środkami konwencjonalnymi;
- w procesie walki biorą udział jednostki ogólnowojskowe i artylerii wspierane uderzeniami samolotów i śmigłowców;
- możliwości jednostki określa jej potencjał bojowy;
- rodzaje działań bojowych ograniczono do:
- obrony, natarcia, pościgu, boju spotkaniowego, działań opóźniających, marszu, artyleria na stanowiskach ogniowych i rejonu ześrodkowania;
- bezpośredniego udziału w walce nie biorą elementy ugrupowania znajdujące się w marszu i w rejonie ześrodkowania;
- z jednostek tworzone są ugrupowania bojowe stron;
- jedno ugrupowanie prowadzi walkę z jednym ugrupowaniem strony przeciwnej;
- w wyniku walki jednostki wchodzące w skład ugrupowań ponoszą straty oraz może nastąpić przesunięcie linii styczności;
- celem uderzeń samolotów i śmigłowców są wskazane obiekty (jednostki) ugrupowania strony przeciwnej;

- wpływ otoczenia ograniczono do elementów rzeźby i pokrycia terenu oraz warunków meteorologicznych;
- obliczenia są prowadzone w czasie operacyjnym w określonych przez operatora cyklach o czasie trwania 15, 30 lub 60 min i ich wielokrotność;
- po każdym cyklu możliwe jest wprowadzenie decyzji wynikających z przyjętego planu działania wojsk;
- w modelu nie rozpatruje się procesów dowodzenia, zasilania i zabezpieczenia bojowego działań.

Symulacja działań bojowych prowadzona jest w czasie operacyjnym: godzina i data prowadzenia działań. System umożliwia rozgrywanie poszczególnych epizodów ćwiczenia poprzez wprowadzenie mechanizmu "przeskoku operacyjnego", a ZT i oddziały mogą zachować swój stan posiadania wynikający z działań bojowych z fazy poprzedniej.

W trakcie prowadzenia symulacji ćwiczenia system umożliwia odzwierciedlenie jego dynamiki poprzez wprowadzanie decyzji o sposobie użycia wojsk oraz o uderzeniach lotnictwa i śmigłowców ( w dowolnych chwilach czasu operacyjnego).

Dialog użytkownika z systemem realizowany jest techniką rozwijanych kolejno menu (proponycji wyboru).

#### 1.1.1.2. Modele matematyczne

Model matematyczny odwzorowuje dwa główne procesy na polu walki: proces wzajemnego oddziaływania (niszczenia) oraz proces ruchu. Do realizacji pierwszego z nich został zastosowany układ równań Lanchestera. Natomiast proces ruchu realizowany jest na podstawie empirycznej formuły.

W takim podejściu model można opisać następującą „trójką”:

$$M = \{ E, O, R \}$$

Gdzie:

**E** - zbiór elementów - obiektów uczestniczących w walce,

**O** - zbiór czynników otoczenia (środowiska walki) wpływających na elementy walki,

**R** - zbiór relacji zachodzących między elementami wzajemnie oraz otoczeniem:

$$R \subset E \times E \times O$$

Przy założeniu, że elementy zbioru spełniają następujące warunki:

$$\begin{aligned} E &= E^A \cup E^B \\ E^A \cap E^B &= \emptyset \\ E^A \neq \emptyset; E^B &\neq \emptyset \end{aligned}$$

gdzie:

$E^A$  - zbiór elementów (obiektów) strony A,

$E^B$  - zbiór elementów (obiektów) strony B,

Każdy element  $e \subseteq E$  można opisać pewną skończoną liczbą zmiennych, atrybutów, które można podzielić na:

- identyfikacyjne, które jednoznacznie identyfikują obiekt w systemie. Są stałe nie mają wpływu na przebieg walki;
- decyzyjne (operacyjne), które odwzorowują sposób prowadzenia działań przez element (wynikają z podejmowanych decyzji). Są zmienne wynikają ze scenariusza walki. Mają wpływ na przebieg walki.
- stanu określają potencjalne możliwości elementu w systemie (podczas walki). Są zmienne. Wynikają z etatowego wyposażenia elementu w sprzęt bojowy i jego parametrów oraz aktualnego procentu ukończenia.

Potencjalne możliwości i-tego elementu są określane wielkością potencjału bojowego, który wyraża się następującą zależnością:

$$p_i = \sum_{j=1}^N n_j \cdot k_j$$

gdzie  $p_i$  to potencjał bojowy elementu;

$N$  - ilość typów sprzętu bojowego elementu;

$n_j$  - ilość sprzętu bojowego j-tego typu;

$k_j$  - wskaźnik jakościowy j-tego typu sprzętu.

Jeśli przyjmiemy, że przez  $A$  oznaczymy podzbiór elementów  $E^A$  wyznaczonych do walki ze strony A, a przez  $B$  analogicznie podzbiór elementów  $E^B$  wyznaczonych do walki ze strony B, to system walki można przedstawić w następujący sposób:

$$\begin{cases} \frac{dm^A}{dt} = -\Lambda^B \cdot m^B \\ \frac{dm^B}{dt} = -\Lambda^A \cdot m^A \end{cases}$$

gdzie:

$m^A$  - liczba środków strony A,

$m^B$  - liczba środków strony B,

$\Lambda$  oznacza strumień skuteczności strzelania strony A i B wyrażony wzorem:

$$\Lambda^A = \lambda^A * \mu^A$$

gdzie:

$\lambda^A$  - szybkostrzelność środków strony A,

$\mu^A$  - prawdopodobieństwo trafienia środków przeciwnika przez środki strony A,

$\lambda^B$  - szybkostrzelność środków strony B,

$\mu^B$  - prawdopodobieństwo trafienia środków przeciwnika przez środki strony B,

przy założeniu, że strony (każda może mieć inne) są wyposażone w jednorodne środki.

Jeżeli w czasie  $\Delta t$  strona A odda  $m^A * \Lambda^A * \Delta t$  skutecznych strzałów, a strona B:  $m^B * \Lambda^B * \Delta t$ , to straty poniesione przez strony wynoszą:

$$\Delta m^A = m^B * \Lambda^B * \Delta t$$

$$\Delta m^B = m^A * \Lambda^A * \Delta t$$

Stąd dzieląc obie strony równań przez  $\Delta t$  i przechodząc do granicy  $\Delta t \rightarrow 0$  otrzymujemy podaną wyżej postać równań w modelu Lanchestera.

Dla współczesnych warunków, przy dużej różnorodności wyposażenia wojsk symulacja w oparciu o klasyczny model Lanchestera jest wymaga odpowiedniej mocy obliczeniowej komputera, komputerowej mapy terenu, a także śledzenie położenia każdego środka walki, jego widoczności i wielu innych elementów. Dlatego też w proponowanym modelu walki wprowadzamy silne ograniczenia oraz modyfikacje modelu Lanchestera, które pozwolą na jego realizację na komputerze PC.

Wprowadzając pojęcie potencjału stron  $P^A$  i  $P^B$ , intensywność niszczenia potencjału  $In^A$  i  $In^B$ , oraz prawdopodobieństwo wzajemnego rozpoznania stron  $Sr^A$  i  $Sr^B$  otrzymujemy nowy układ równań:

$$\begin{cases} \frac{dP^A}{dt} = -\Lambda^B \cdot P^B \\ \frac{dP^B}{dt} = -\Lambda^A \cdot P^A \end{cases}$$

gdzie:  $\Lambda^A = \text{In}^A * \text{Sr}^A$   
 $\Lambda^B = \text{In}^B * \text{Sr}^B$

Po agregacji wartości potencjałów, intensywności niszczenia oraz prawdopodobieństwa rozpoznania poszczególnych elementów wchodzących w skład obu stron, otrzymujemy:

- wartość potencjału strony A:

$$P^A = \sum_{i=1}^{L^A} p_i$$

- wartość intensywności strony A:

$$\text{In}^A = \frac{\sum_{i=1}^{L^A} \text{in}_i \cdot p_i}{P^A}$$

- wartość prawdopodobieństwa rozpoznania strony A:

$$\text{Sr}^A = \frac{\sum_{i=1}^{L^A} \text{sr}_i \cdot p_i}{P^A}$$

gdzie:

$p_i$  - wartość potencjału i-tego elementu;

$\text{in}_i$  - wartość intensywności niszczenia i-tego elementu;

$\text{sr}_i$  - wartość prawdopodobieństwa rozpoznania i-tego elementu;

$L^A$  - ilość elementów strony A;

Proces ruchu (przemieszczenia) jest odwzorowany jako przesunięcie linii styczności oraz realizowany jest przy pomocy następującej formuły:

$$V = V_{\max} \cdot e^{\omega} \cdot \log\left(\frac{P^A}{P^B}\right) \cdot \mu_T$$

gdzie:

$V_{\max}$  - maksymalne tempo natarcia w optymalnych warunkach

- $\mu_T$  - współczynnik wpływu rzeźby i pokrycia terenu  
 $P^A, P^B$  - potencjały stron;  
 $\omega$  - współczynnik efektywności działań, określany formułą uwzględniającą względne straty potencjału obu stron;

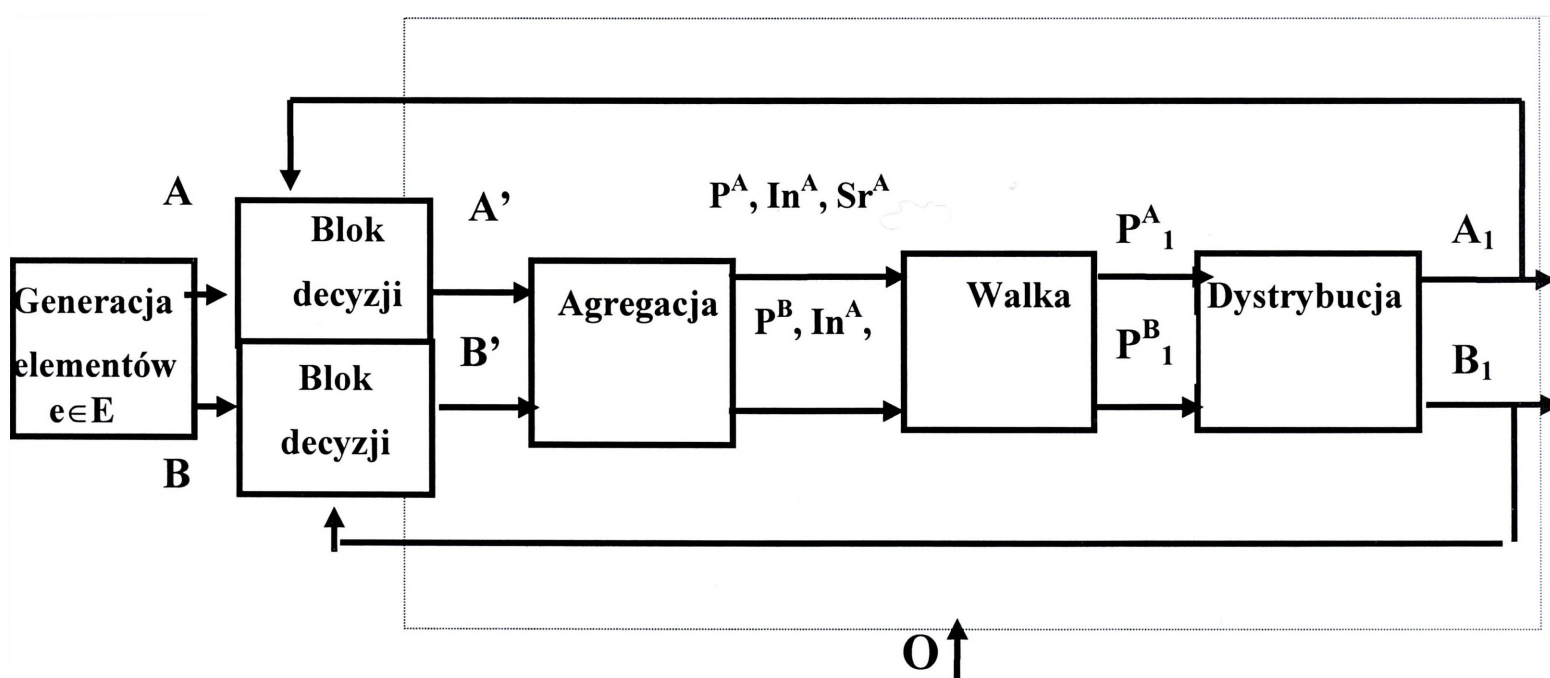
gdzie:

$$\omega = \frac{P^A \cdot C^B - P^B \cdot C^A}{P^A \cdot C^B + P^B \cdot C^A}$$

$C^A, C^B$  - ubytek (strata) potencjału poszczególnej strony.

Sposób agregacji dla obu stron jest taki sam. W module „walka” następuje wyliczenie strat obu stron w walce w czasie  $\Delta t$ . W module „dystrybucja” następuje rozdzielenie strat stron na poszczególne elementy. Zasadą dystrybucji może być losowe lub równomierne rozdzielenie strat na wszystkie elementy strony.

Jeśli przyjmiemy, że będziemy modelować podejmowanie decyzji podczas walki, w wyniku których elementy mogą wchodzić i wychodzić z walki wówczas model przyjmuje następującą postać:



Rys.1. Model systemu walki przyjęty w Model-5

Przedstawiony powyżej opis modelu symulacji działań bojowych stanowi jeden z możliwych przykładów formalnego opisu tego procesu.

### **1.1.1.3. Reprezentacja terenu i otoczenia**

Teren jako taki nie został odwzorowany w modelu. Wpływ warunków terenowych uwzględniony został określanie elementów rzeźby (równinny, pagórkowaty, górzysty, itp.) i pokrycia (odkryty, zalesiony, lesisto-jeziorny itp. ). Warunki meteorologiczne takie jak rodzaj pogody i pory dnia zostały również uwzględnione.

### 1.1.2. JANUS

System JANUS jest interaktywnym, symulacyjnym systemem czasu rzeczywistego (tryb pracy on-line) używanym do szkolenia dowódców plutonów i kompanii w stosowaniu doktryn taktycznych i technik prowadzenia walk. Istnieje uzasadnione przypuszczenie, że najnowsza wersja tego systemu będzie wspierać szkolenie na szczeblu batalionu a nawet brygady. Ćwiczący muszą rozważyć wszystkie aspekty manewrowe używanych sił tak jak w czasie realnych działań bojowych. System dokładnie modeluje działania systemów uzbrojenia sił własnych oraz przeciwnika. Systemem uzbrojenia może być pojedynczą platformą (czołg, wyrzutnia, wóz bojowy, itd.) lub zbiorem platform (bateria, dywizjon raketowy, itp). Modele obejmują szczegółowe parametry systemów uzbrojenia takie jak: wymiary, ciężar, obciążalność, typ uzbrojenia i zdolność rażenia. Parametry mogą być zmieniane w zależności od pogody lub własności terenu.

Na szczeblu batalionu i brygady system JANUS wykorzystywany jest przede wszystkim do szkolenia dowódców operacyjnych (pion P3) oraz dowódców służb wywiadowczych (P2), gdyż oni opracowują i wykonują szczegółowe plany taktyczne. Dowódcy muszą stosować obowiązujące dobrze znane zasady prowadzenia walki oraz muszą osiągnąć pełną synchronizację działań sił, aby osiągnąć sukces w walce symulowanej przez oprogramowanie. Normalny czas szkolenia dla personelu podgrywki oraz ćwiczących wnosi 8-12 godzin. Nie obejmuje to wsparcia działań personalnych (P1) i logistycznych (P4).

System JANUS oferuje dobre narzędzia analityczne AAR (After Action review). Analityczna Stacja Robocza JANUSA (JAWS) zapewnia możliwości śledzenia i odtwarzania walki dokładnie tak jak ona przebiegała w czasie symulacji, z możliwością selektywnego odtwarzania i graficznego zobrazowania działań bojowych i poszczególnych operacji obejmujących czas i miejsce niszczącego ataku ogniowego. Wadą systemu jest zbyt uproszczone symulowanie działań logistycznych, w których np. nie uwzględnia się odtwarzania lub uzupełniania zniszczonego sprzętu. Wykorzystanie modułu JANUS dla celów analizy pocwiczeniowej ma swoje ograniczenia, gdyż modul analityczny musi pozyskiwać dane statystyczne z innych źródeł zewnętrznych.

System JANUS zapewnia efektywne szkolenie dowódców od szczebla batalionu w dół do pojedynczej załogi lub eskadry. Nacisk w szkoleniu postawiony jest głównie na szczebel kompanii, drużyny lub plutonu. Na szczeblu brygady lub batalionu system głównie

wspomaga szkolenie seminaryjne sztabów. System nie jest przeznaczony do wspomagania w pełnym zakresie ćwiczeń sztabowych i nie może być wykorzystany jako narzędzie szkoleniowe w jednostkach zabezpieczenia bojowego (Combat Service Support). Dobrą własnością tego systemu jest wygenerowana duża ilość baz danych o terenie (ponad 1000).

### 1.1.3. oneSAF

System OneSAF został opracowany w celu zastąpienia grupy systemów symulacyjnych takich jak: ModSAF, Janus, ITEMS, IDEEAS, BEWSS i CCTT-SAF. W siłach lądowych USA został wdrożony w drugim kwartale 2000 roku.

Jest to modułarny system symulujący pełny zakres możliwych działań bojowych na lądzie oraz procesy dowodzenia. Symulowane są działania elementów pola walki, od pojedynczych obiektów pola walki (czołg, wóz bojowy, działo, itp.) i stanowisk ogniowych do batalionu. Ma on z założenia możliwie wiernie odzwierciedlać specyficzne działania bojowe na lądzie (walka z przeciwnikiem i manewr), dowodzenie, kierowanie, łączność, komputery i wywiad (C4I), wsparcie bojowe oraz zabezpieczenie działań bojowych. W miarę dokładnie odzwierciedla środowisko fizyczne i jego wpływ na prowadzone działania.

\* System może wymieniać dane z innymi systemami w standardzie wymiany danych HLA. Dzięki temu może on współpracować z takimi systemami jak JANUS, VICTORS (Variable Intensity Computerized Training System), SPECTRUM, BBS, CBS, TACSIM i WARSIM 2000. Wszystkie wymienione systemy wchodzą w skład rodziny systemów symulacyjnych (FAMSIM), a ich rozwój nadzorowany jest przez National Simulation Center (Narodowe Centrum Symulacji), które ściśle współpracuje w tej dziedzinie z Simulation, Training and Instrumentation Command (STRICOM).

#### 1.1.4. BBS

System BBS (BRIGADE BATTLE SIMULATION) został zaprojektowany jako tani system symulacyjny oferujący dowódcom brygad i batalionów manewrowych oraz ich sztabom możliwość szkolenia się w podejmowaniu decyzji, ćwiczenia doktryn walki w powietrzu i na lądzie w realistycznym środowisku bojowym, przy występowaniu wielu zagrożeń i dużej presji czasowej. Dowódcy i ich sztaby muszą opracowywać, korygować oraz oceniać duże ilości danych taktycznych i logistycznych, formułować oceny sytuacji oraz podejmować szybkie decyzje dotyczące dowodzenia i synchronizacji działań przydzielonych sił operacyjnych, sił wsparcia (Combat Support Units), sił zabezpieczenia (Combat Service Support) oraz sił lotniczych (Air Forces). Dowódcy kompanii, jednostek sił wsparcia bojowego i zabezpieczenia bojowego są pośrednio szkoleni w czasie ćwiczeń wspomaganym przez system BBS. Normalny czas szkolenia interakcyjnego na stacji roboczej wynosi 608 godzin (około miesiąca).

System BBS został opracowany jako sterownik ćwiczeń wspomaganym komputerowo dla dowódców szczebla taktycznego i ich sztabów.

Ponadto system może wspomagać szkolenie dowódców brygad i batalionów oraz ich sztabów. Zapewnia on środowisko do ćwiczenia i symulowania wszystkich funkcji sztabu. Jest on szczególnie przydatny do ćwiczenia procedur sztabowych i zgrywania dowództw.

Pomimo, że BBS został opracowany głównie jako sterownik w ćwiczeniach CPX dla jednostek bojowych to duży on także jako trener sztabowy dla jednostek wsparcia bojowego i zabezpieczenia bojowego.

##### **1.1.4.1. Koncepcja symulacji**

System BBS oferuje w pełni zautomatyzowane narzędzia analityczne. Moduł Analityczny Symulacji Walki dla Batalionu / Brygady (BBSAAR) umożliwia zapamiętywanie i odtwarzanie informacji z ostatnich 48 godzin o działaniach bojowych z rozdzielczością do jednej minuty.

##### **1.1.4.2. Reprezentacja otoczenia**

W systemie BBS wykorzystuje się optyczne pamięci dyskowe (LVD) do generowania map terenu i modeli gier wojennych. Standardowo rejon symulowanych działań operacyjnych to obszar 175 x 175 km.

System BBS instalowany jest na komputerach klasy DEC MicroVax, zazwyczaj w konfiguracji pięciu serwerów VAX 3100-40 i dziesięciu stacji roboczych. Taki zestaw pracuje w lokalnej sieci komputerowej jako system z symulacją rozproszoną. Gra może być prowadzona ze stanowisk oddalonych po zastosowaniu multiplekserów, modemów oraz standardowych linii telefonicznych.

Amerykańskie Narodowe Centrum Symulacji (NSC) zaleca trzy pełno-zmianowe obsady do obsługi systemu: dowódca operacyjny (major), menedżer systemu (kapitan), menedżer bazy danych (kapitan) i kontroler zagrożeń (kapitan).

### 1.1.5. CBS

CBS [24] (CORPS BATTLE SIMULATION) symuluje walkę, wsparcie i zabezpieczenie techniczne stron walczących. Obejmuje to na przykład, przegrupowanie, działania bezpośrednie, działanie artylerii, wojsk inżynieryjnych, zabezpieczenie medyczne, odtwarzanie zapasów, BMR, operacje powietrzne i obronę przeciwlotniczą.

Intencją CBS jest zamiana ręcznych metod dowodzenia używanych w przeszłości.

*Nowoczesna technologia komputerowa w połączeniu z wyspecjalizowanym oprogramowaniem daje możliwość szybkiej, elastycznej i interaktywnej kontroli przebiegu symulacji. Duże ekrany, w sposób właściwy pozwalają kierownictwu kontrolować dane o ćwiczących elementach w czasie rzeczywistym. Kombinacja grafiki i systemu menu pozwalają wydawać komendy dla potrzeb symulacji oraz kontrolować skomplikowane informacje graficzne dostarczane przez stację roboczą CBS.*

#### 1.1.5.1. Koncepcja symulacji

Koncepcja symulacji oparta jest o zastosowanie szeregu dostępnych modeli cząstkowych, które określają zakres funkcjonalności oraz adekwatności modelu. Poniżej przedstawiono modele cząstkowe, które wchodzi w skład modelu bazowego.

#### **Model ruchu naziemnego**

- Tryb ruchu może być po drogach lub na przełaj
  - jednostki poruszają się trybem określonym przez operatora
  - konwoje poruszają się po drogach, chyba że sześciokąt nie posiada dróg

- Najmniejszy „krok” jednostki znajduje się w bazie danych i nie jest sztucznie wymuszany przez granice sześciokąta
- Szybkość maksymalna i odcinki marszu są określane przez operatora w granicach norm
- Faktyczna szybkość poruszania się zależy od wyposażenia jednostki, zdolności bojowej, statusu MOPP, odległości od nieprzyjaciela, typu terenu, wyczerpania marszem, zatłoczeniem ruchu, istnienia drożni, mostów, rzek, pól minowych, dymów, przeszkód terenowych, uciekinierów i jest ograniczona maksymalną prędkością i odległością marszu
- Jednostki i konwoje mogą tarasować drogi same sobie, powodować opóźnienia innym jednostkom i konwojom oraz być opóźniane przez inne jednostki i konwoje
- Poziom opóźnień wymuszany jest przez tryb poruszania się, ilość pojazdów w jednostce lub konwoju odległości między pojazdami, przejezdnością pokonywanego terenu oraz ruchu innych jednostek lub konwojów
- MP może meldować o ruchu wojsk w punktach kontrolnych i redukować zatłoczenie dróg
- Niezdolne jednostki poruszają się wolniej
- Jednostki atakowane przez lotnictwo i artylerię mają opóźnienia ruchu

### **Model Walki naziemnej**

- Reprezentacja jednostek
  - do 20 000 jednostek
  - najmniejszą jednostką jest batalion
  - położenie jednostki określone jest jako punkt
  - nazwa jednostki może być zmieniana
  - jednostka posiada zadanie bojowe i położenie, system wsparcia i zabezpieczenia oraz ponad 80 dodatkowych atrybutów
- Organizacja walki dopuszcza organizowanie doraźnych zadań
- Jednostka automatycznie zmienia stan na podstawie wartości zdolności bojowej
- Jednostki piechoty mogą być na transporterach podczas ataku
  - piechota na transporterach automatycznie „spieszają” się w określonej odległości od nieprzyjaciela

- personel transporterów jest mniej narażony na straty ale nie jest uwzględniany w sile ognia jednostki
- System walki jednostki dowodzony jest przez wyznaczonych dowódców (żołnierzy zawodowych) (tylko wojska własne)
  - straty w ludziach zależą od typu amunicji oraz stanu zniszczeń systemów walki
  - straty w ludziach zmniejszają możliwości dowódców
- Jednostki narażone są na oddziaływanie ognia artylerii zarówno własnej jak i przeciwnika
  - oddziaływanie artylerii zmniejsza zdolność bojową jednostki
  - stopień obezwładniania zależy od typu amunicji, szybkostrzelności i urzutowania jednostki
- Zdolność bojowa jednostki może być określona przez operatora lub automatycznie jako wynik działań
- Efektywność walki jednostki zależy od liczby kierowanych systemów walki oraz (tylko dla wojsk własnych) od kompetencji dowódcy
- Wykrywanie jednostek, konwojów oraz składów jest modelowane w sposób stochastyczny
  - raporty o wykryciu wydawane są wtedy gdy wykrycie nastąpi
  - raporty stają się sukcesywnie coraz bardziej dokładne z upływem czasu
- Jednostka jest w walce gdy wykryje jednostkę przeciwnika, co najmniej jedna jednostka posiada broń o wystarczająco dużym zasięgu aby osiągnąć przeciwnika oraz jej stan nie wyklucza walki
- Jednostka może rozpoznawać teren przeciwnika
  - zdolność rozpoznania zależy od wielkości jednostki, typu, położenia, odległości, terenu, pory doby oraz wyposażenia (np. noktowizory)
  - jednostki rozpoznawcze mogą wykonywać zasadzki na przeciwnika, prowadzić normalne lub specjalne rekonesanse lub wykonywać wybrane zadania destrukcyjne
  - półautomatyczny system wspomaganie operatorów (COAST) wspomaga rozpoznanie
- Jednostki obrony cywilnej mogą eliminować zastoje powodowane przez uciekinierów oraz zbierać informacje od mieszkańców (HUMINT)

- Jednostki walki psychologicznej (PSYOP) mogą obniżać efektywność wojsk przeciwnika
  - ulotki
  - radio
- Jednostki mogą stawiać zasłony dymne
- Cechy działań bezpośrednich
  - progi zaangażowanych sił
  - jednostki przeciwstawne mogą zajmować ten sam sześciokąt
  - jednostki mogą być zniszczone
  - jednostki posiadają indywidualny zasięg broni
  - limit maksymalnych zasięgów dla walki
  - jednostka może unikać walki. Jeśli zostanie wykryta, nakłada się na nią ograniczenia
  - jednostka może być opanowana
  - jednostka może poruszać się „pod ogniem”
  - jednostka może wykonywać zadanie wsparcia ogniem
  - jednostki nie posiadająca zdolności bojowej nie mogą przeciwstawiać się jednostkom taka zdolność posiadającym

### **Model Artylerii**

- Dostępne typy zadań:
  - ogień normalny
  - wsparcie ogniowe
- Artyleria może prowadzić zarówno ogień bezpośredni jak i pośredni
  - minimalny i maksymalny zasięg dla ognia pośredniego
  - maksymalny zasięg dla ognia bezpośredniego
- Grupy i serie ognia mogą być wcześniej zaplanowane
  - określony czas wykonania
  - dostępne raporty stanu
- Szybkostrzelność wybierana przez operatora
  - stała
  - maksymalna

- W przypadku ognia normalnego, jeśli nie jest określone to jest zakładana domyślna broń i amunicja
- Artyleria może prowadzić ogień typu „strzelaj i uciekaj”
- Straty od artylerii liczone są metodą zniszczeń ułamkowych (CAC)
  - powierzchniowe/kołowe ułamkowe współczynniki zniszczenia dla jednostek stacjonarnych
  - liniowe ułamkowe współczynniki zniszczenia dla jednostek w ruchu
- Jednostka artylerii prowadząca ogień jest wykrywalna przez nieprzyjacielski radar wykrywania ognia
  - wykryta jednostka artylerii jest meldowana przeciwnikowi i jest podatna na zniszczenia
  - możliwości radaru zależą od typu, maksymalnego zasięgu
- Radary wykrywające strzelającą artylerię wykrywalne są przez nieprzyjacielskie rozpoznanie radioelektroniczne ELINT
  - wykryte radary wykrywające strzelającą artylerię stają się podatne na zniszczenie
  - zagrożenie ELINT ustawialne (niskie, średnie, wysokie)
  - prawdopodobieństwo wykrycia radaru przez ELINT wzrasta wraz z upływem czasu działania radaru
- Artyleria może stawiać samo likwidujące się pola minowe ASCAM
- Dostępne typy amunicji: HE, DPICM, RAP, FASCAM, PSYOP z ulotkami, Copperhead, chemiczne, nuklearne
- Zasłony dymne stawiane przez artylerię
  - zasłony dla światła widzialnego i podczerwieni
  - koncentracja dymu jest zależna od mechanizmu wytwarzającego, koncentracji obłoku, stabilności powietrza, i szybkości wiatru
  - dymy wpływają na straty od ognia bezpośredniego, wykorzystanie laserów, start i lądowanie samolotów, obserwację ognia artylerii, ruch wojsk
- Amunicja chemiczna
  - wiele kombinacji tej amunicji jest dostępne (GB, VX, HD, GD, HL, AC, T2)

- skażenie chemiczne rozprzestrzenia się wraz z upływem czasu jako funkcja naturalnej zdolności rozprzestrzeniania, szybkości wiatru, roślinności i stabilności powietrza
- natychmiastowe, opóźnione i długotrwałe straty od środków chemicznych zależą od typu związku, koncentracji i statusy MOPP
- dokładne odkażenie wymagane dla skażonej jednostki zależy od zastosowanego środka trującego
- Amunicja nuklearna
  - skażenie radioaktywne o stałym czasie trwania
  - straty bezpośrednie i od napromieniowania
- Amunicja precyzyjna wymaga wcześniejszej instalacji laserowych urządzeń naprowadzających (naziemnych lub powietrznych)
- Czas bombardowania określony jest ilością luf (lub ilością naprowadzaczy laserowych w przypadku amunicji precyzyjnej)
- Szybkostrzelność i czas bombardowania zależą od zniszczeń systemu maskowania

### **Model Inżynieryjny**

- Jednostki wojsk lądowych mogą wykonywać następujące zadania inżynieryjne
  - naprawa i niszczenie mostów stałych
  - montowanie, demontowanie, niszczenie mostów inżynieryjnych
  - stawianie i usuwanie pól minowych
  - wykonywanie rowów przeciwczołgowych, wykopów na drogach i blokad drogowych
  - wykonywanie przejść w polach minowych, rowach przeciwczołgowych i przeszkodach punktowych
  - rozbudowa fortyfikacyjna terenu
  - niszczenie i naprawa pasów startowych
- Działalność inżynieryjna wpływa na straty jednostki i jej ruch
  - pola minowe bez oczyszczonych przejść powodują straty w ludziach i sprzęcie oraz opóźniają ruch
  - rowy przeciwczołgowe, przeszkody punktowe i zniszczone mosty powodują opóźnienia w ruchu

- Czas trwania zadań inżynierskich zależy od kombinacji systemu zabezpieczenia działań, personelu i zasilania dostępnego jednostce
- Jednostki mogą wykonywać ww. czynności tylko podczas walki
- Elementy inżynierskiego zabezpieczenia walki są bardziej podatne na straty od ognia bezpośredniego podczas wykonywania zadań inżynierskich
- Możliwość wykonania zadań inżynierskich są mniejsze w nocy, w terenie skażonym, w terenie nieprzyjawnym oraz gdy jednostki jest pod ogniem przeciwnika
- Lotnictwo może stawiać narzutowe pola minowe DSCAM, robić wyrwy w drogach oraz niszczyć mosty inżynierskie
- Artyleria może stawiać narzutowe pola minowe ASCAM
- Meldunki o wykonaniu zadań inżynierskich umożliwiają ciągłość działań

### **Model Lotnictwa taktycznego**

- Dostępne typy misji:
  - obrona przeciwpowietrzna (DCA)
  - bezpośrednie wsparcie lotnicze (CAS)
  - lotnicza izolacja pola walki (BAI)
  - izolacja lotnicza rejonu działań bojowych (AI)
  - ofensywne działania lotnicze (OCA)
  - obezwładnianie obrony powietrznej przeciwnika (SEAD)
  - rozpoznanie (RECCE)
  - dyżurowanie bojowe w parach (CAP)
  - powietrzny system wczesnego ostrzegania i naprowadzania (AWACS)
  - tankowanie powietrzne (AIRREF)
- Częstotliwość lotów zależy od:
  - liczby dostępnych samolotów
  - stanu pasów startowych
  - opóźnień wynikających z tankowania i uzbrajania (spadek wydolności MOPP)
  - opóźnień startów i lądowań (spadek wydolności MOPP)
- Operator może spowodować
  - rozwinięcie jednostek lotniczych
  - zmianę zadania

- przerwanie wykonywania zadania
- ręczne łączenie w pary CAP i DCA
- automatycznie łączenie w pary CAP i DCA
- Potyczki powietrzne w metodzie automatycznej wykorzystują potencjał bojowy do określenia ilości środków wysyłanych przeciwko napastnikom
- Pakiet misji powietrznych
  - zawiera wiele elementów misji zebranych w skoordynowaną siłę uderzeniową
  - można sprecyzować czas nad celem (TOT), cele pierwszoplanowe i drugoplanowe, ładowana broni, wyloty i przyloty itd.
- Loty orbitalne
  - orbitalne wykrywanie i zwalczanie misji orbitalnych nieprzyjaciela
  - CAS i BAI w odniesieniu orbitalnym
  - misje nieprzewidziane mogą mieć orbity powrotne
- Samoloty latają na wysokościach określonych przez operatora
- Samoloty posiadają laserowo oświetlone cele wybrane przez siebie, przez inne misje TACAIR lub jednostki naziemne
- Operacje lotnicze możliwe do wykonania z baz odległych (poza teatrem działań)
  - TACAIR
  - Przerzut powietrzny
- Samoloty mogą operować z wysuniętych stanowisk
- Samoloty znajdujące się na ziemi są narażone na straty i zniszczenia spowodowane działaniami bojowymi, ogniem artylerii oraz bombardowaniem z powietrza
- Pasy startowe mogą być zamykane aby ograniczyć lub całkowicie uniemożliwić działanie lotnictwa
- Misje lotnicze informują o położeniu środków obrony przeciwlotniczej przeciwnika, które mogą je zaatakować i automatycznie próbują unikać starcia z nimi
- Cechy walki radioelektronicznej
  - ograniczenie możliwości radarów naziemnych i AWACS
  - obniżenie efektywności oddziaływania rakiet przeciwlotniczych (radar i podczerwień)
- Cechy obezwładniania obrony powietrznej przeciwnika (SEAD)
  - zabezpieczenie misji lotniczych od SEAD

- atakowanie jednostek przeciwlotniczych rakietami antyradiacyjnymi (ARM) i bronią konwencjonalną
- niszczenie jednostek przeciwlotniczych
- niszczenie samolotów SEAD
- Meldunki zbiorcze dla bezpośredniego wsparcia lotniczego (CAS)
- Meldunki o trasach lotów

### **Model Lotnictwa Wojsk Lądowych**

- Dostępne rodzaje misji
  - atak
  - blokada
  - psychologiczne (PSYOP)
  - rozpoznanie
  - wsparcie
  - osłona
  - oświetlanie (celów)
  - przerzut powietrzny
- Lotnictwo wojsk lądowych może być dostępne dla każdej jednostki
- Samoloty będące na ziemi są podatne na straty
- Działania mogą być prowadzone z dowolnej naziemnej jednostki walczącej, z punktu wysuniętej strefy uzbrojenia i tankowania (FARRP), lub dowolnego punktu w obszarze działań
- Samolot może latać nisko nad powierzchnią ziemi (zgodnie z profilem)
  - redukcja efektywności działania obrony przeciwlotniczej
  - zmniejszona efektywność misji przez profil ziemi i maskujący wpływ roślinności
- Trasy wylotów i przylotów sprecyzowane przez operatora
  - położenie celów, szybkość przelotów, wysokość, sposób lotu mogą być zmieniane w czasie lotu
  - szybkość przelotu jest automatycznie dopasowywana do osiągnięcia właściwego czasu osiągnięcia celu lub lotniska
  - dostępne są meldunki o planowanych trasach lotów
- Meldunki o nieprzyjacielskiej obronie przeciwlotniczej

- Samoloty mogą unikać obrony przeciwlotniczej lub wiązać ją walką
- Obecność lotnictwa osłonowego zwiększa straty
- Modele amunicji kierowanej przewodowo i laserowo.

### **Model taktycznego przerzutu powietrznego / desant powietrzny**

- Cechy operacji typu most powietrzny
  - samoloty i śmigłowce
  - zaopatrzenie
  - przetrucane jednostki
  - operacje jedno lub wielopunktowe
- Wielu operatorów może brać pod uwagę użycie przerzutu powietrznego
- Zaopatrzenie może być pozostawione dla późniejszych operacji lub zabrane
- Przerzut powietrzny jednostek obejmuje możliwość szturmowego przelotu w terenie okupowanym przez wroga (tylko śmigłowce)
  - zasadnicza i zapasowa strefa lądowania (LZ)
  - stopień akceptowalnego ryzyka wybierany przez operatora
  - kalkulacja ryzyka przed lądowaniem
  - zapasowe lądowisko wybierane jest gdy lądowanie na zasadniczym jest zbyt ryzykowne
  - wcześniejsze rozpoznanie planowanej strefy lądowania
- Samoloty i dodatkowe wyposażenie wykonujące przerzut powietrzny narażone są na straty
  - podczas lotu
  - podczas załadunku i wyładunku
- Samoloty muszą być ładowane i rozładowywane w bazach lotniczych (wyłączając zrzuty)
- śmigłowce mogą lądować w dowolnym miejscu teatru działań
- Automatycznie wspomagane planowanie załadunku
- Ładowanie i rozładowanie zależy od stopnia degradacji środków maskowania

### **Model OPL**

- W skład uzbrojenia przeciwlotniczego wchodzi:
  - rakiety naprowadzane radarem

- działa kierowane radarem
- rakiety na podczerwień
- działa z celownikami optycznymi
- Stacje radarowe wykrywające misje powietrzne i stanowiska artylerii przeciwlotniczej
  - AWACS
  - stacje naziemne
- Zakres wykrywalności radarów zależy od typu radaru i wysokości lotu obiektów
- Dla wczesnego ostrzegania można rozlokować jednostki wykrywania lotnictwa przeciwnika
- Stanowiska obrony przeciwlotniczej przeciwnika mogą być obezwładniane
- Tryby działania obrony przeciwlotniczej
  - automatyczny
  - dobierane ręcznie
  - samoobrona
- Wykryte samoloty są klasyfikowane jako swój, obcy, niezidentyfikowany
  - określanie stochastyczne
  - istnieje możliwość niszczenia własnych stanowisk
- Automatyczne uaktywnianie obrony przeciwlotniczej zależy od statusu broni jednostki
  - Wolna
  - Gotowa
  - Zatrzymana
- Zasady użycia broni określają, które jednostki zwalczają określone misje lotnictwa przeciwnika
  - zależne od stanu uzbrojenia ADA i identyfikacji obiektów powietrznych
  - działania samoobronne mają priorytet
  - możliwości sterowania ręcznego
- Metody strzelania środków obrony przeciwlotniczej
  - strzał - obserwacja - strzał
  - strzał podwójny
  - oddziaływanie rakietami HAWK

- Zdolność walki ADA jest wyznaczona przez:
  - działanie radarów kierowania ogniem i amunicji
  - maksymalny i minimalny zasięg i wysokość oddziaływania broni przeciwlotniczej
  - czas prowadzenia ognia i ponownego załadowania (zależy od sprawności MOPP)
- Straty w sprzęcie są stochastyczne i zależą od typu broni i celu
- Broń z celownikami optycznymi dostępna jest dla ADA
  - nie wymagają radarów kierowania ogniem
  - prawdopodobieństwo trafienia jest zależne od pory doby
  - jednostki będące w stanie MOPP 3 i 4 nie mogą używać broni z celownikami optycznymi
- Taktyczne rakiety balistyczne (TBM) mogą być wykrywane i zwalczane przez antyrakiety ATBM SAM
  - tor lotu TBM, zasięg ATBM oraz zasięg broni wyznacza czas walki
  - Naziemny Punkt Uderzenia broni okręgu definiowanego dla stanowisk ADA
  - tworzone są meldunki o rakietach balistycznych oraz działalności ATBM

## **Modele Logistyczne**

### ***a) Model Zaopatrzenia***

- Zużycie może być dzienne, osobodzień oraz bieżące
- Dostępne wszystkie klasy zaopatrzenia za wyjątkiem II i IV
- Klasy zaopatrzenia dzielone są na kategorie
- Organiczne zaopatrzenie jednostki podatne jest na starty
- Konwoje wykrywane są przez jednostki naziemne przeciwnika, jego lotnictwo rozpoznawcze, podatne na straty od jednostek naziemnych, artylerii i lotnictwa
- Konwoje własne mogą być tworzone, zmieniane i kasowane
- Konwoje przeciwnika kierowane są przez wysyłanie i odwoływanie rozkazów
- Konwoje przeciwnika mogą być zmieniane
- Konwoje przeciwnika generowane są automatycznie jak tylko zaopatrzenie zostanie zużyte

- Ładowanie i rozładowanie konwojów zależy od stopnia degradacji maskowania
- Zarządzanie zaopatrzeniem jednostek walczących
  - długotrwałe zaopatrzenie (tylko wojska własne)
  - zmienne
  - zaopatrzenie może być międzypoziomowe
- Przesunięcie centrów zaopatrzenia (tylko wojska własne)
  - centra zaopatrzenia mogą kontynuować wydawanie zaopatrzenia podczas przesunięcia do nowej lokalizacji ze zmniejszoną wydajnością
- Mogą być tworzone zestawy zaopatrzeniowe 'ad hoc'
  - tworzone przez jednostki, konwoje i przerzuty powietrzne
  - istnieje możliwość zaopatrywania jednostek sąsiednich bezpośrednio lub poprzez konwoje
  - zaopatrzenie zależy od start od artylerii i lotnictwa oraz zniszczeń przez siły przeciwnika

#### **b) Model remontowy i usług medycznych**

- Limity naprawcze i medyczne mogą być przesuwane pomiędzy naprawami i usługami medycznymi (tylko wojska własne)
- Personel naprawczy i rezerwowe resursy zależą od możliwości lotnictwa (tylko wojska własne)
- zaopatrzenie dla jednostek remontowych i medycznych może być zmieniane (tylko wojska własne)
- Możliwe są straty od chorób i niebojowych uszkodzeń sprzętu (tylko wojska własne)
- Czynności naprawczo medyczne są stochastyczne do występowania zniszczeń oraz uszkodzonych
- Zniszczenie pojazdu pociąga za sobą straty w załodze
- Każdy element wyposażenia ma swoje czynności naprawcze
- Określone procedury ewakuacji i transportu rannych pomiędzy szpitalami
- Straty w ludziach od środków chemicznych nie są śmiertelne
- Czas napraw zależy od degradacji maskowania

### *c) Model uzupełnienia*

- Mechanizm zarządzania personelem
  - związanie składu osobowego z wyposażeniem
  - identyfikacja personelu poprzez CMF
  - generowanie dziennych raportów personalnych

### *d) Model logistyki wojsk lotniczych*

- Limity mogą być przesuwane pomiędzy jednostki
- Jednostki wsparcia dla jednostek naprawczych mogą być zmieniane
- Czas dotarcia do punktów naprawczych i resursy naprawcze zależą od możliwości lotnictwa
- Części lotnicze są składowane i mogą być naprawiane
- Części mogą być wykorzystywane na wielu poziomach

Raporty napraw określają samoloty będące w stanie naprawy i zaopatrzenia.

#### **1.1.5.2. Matematyczny model walki**

- Model Lanchester'a używany jest do określenia strat walczącej jednostki poniesionych w bezpośredniej walce z jednostką przeciwnika (ogień bezpośredni) i wspierającego ognia artylerii (ogień pośredni)
- Straty określane są dla dostępnych systemów walki prowadzących ogień przeciwko każdemu systemowi walki lub wsparcia przeciwnika
  - oddzielne współczynniki modelu dla ognia pośredniego i bezpośredniego
  - współczynniki dla ognia bezpośredniego akceptują efekt zwielokrotnienia broni na tej samej platformie
  - system artylerii jednostek wspierających dodaje się do ognia pośredniego jednostek wspieranych
  - współczynniki modelu Lanchester'a zależą od położenia, pory doby, pogody, możliwości jednostek walczących, użytych systemów walki
  - poziom strat jest modyfikowany przez następujące czynniki: cechy terenu, obecność rzek i własnych fortyfikacji, różnica wysokości pomiędzy atakującym i atakowanym, utrudnienia ruchu, dostępność MPS oraz amunicji dla atakujących, status MOPP atakujących

- Straty wyliczone przez model Lanchester'a poprawiane są przez system COBRA
  - system ekspercki analizuje każdą sytuację walki i określa odpowiednie współczynniki równań Lanchester'a
  - dodatkowo bierze się pod uwagę: skuteczność bojową jednostki, wyposażenie jednostek piechoty i pancernych, łączenie jednostek piechoty z czołgami, położenie nieprzyjaciela, możliwości obrony, ukrycia i ochrony, taktyczną mobilność jednostek, przydział celów dla atakujących, odległość walki między jednostkami
- Straty jednostki wyliczane są asynchronicznie, wtedy kiedy zajdzie jakieś zdarzenie w procesie walki

### **1.1.5.3. Reprezentacja otoczenia (terenu)**

Teren w CBS odwzorowany jest poprzez niżej wymienione warstwy informacyjne:

- Podkłady mapowe dostępne dla:
  - Korei
  - Europy
  - Ameryki Środkowej
  - Azja Południowo-Zachodnia
- Podstawą mapy są sześciokąty o boku 3 km
- Charakterystyka wnętrza sześciokąta:
  - przejezdność
  - roślinność
  - średnie pofałdowanie
  - zabudowa
  - średnie wysokość
  - ufortyfikowanie
- Charakterystyka krawędzi sześciokąta:
  - drogi
  - rzeki
  - mosty
  - przeszkody
- Cele:
  - drogi

- mosty
  - przeszkody punktowe
  - pasy startowe
  - schrony dla samolotów
- Działania inżynieryjne mogą modyfikować parametry terenu
  - Skala mapy zależy od szczebla ćwiczenia

#### 1.1.6. CORA

System komputerowej symulacji pola walki KORA/OA [23] (*KORPS RAHMEN SIMULATIONSMODELL FÜR DIE OFFIZIERSAUSBILDUNG*) został pierwotnie opracowany na potrzeby Akademii Dowodzenia w Hamburgu. Firmą realizującą zamówienie jest IABG (*Industrie Anlagen Betriebs Gesellschaft*).

KORA/OA jest modelem do tworzenia scenariuszy wojny lądowej i powietrznej od szczebla brygady do korpusu. Opracowany został jako model do wspierania kierownictwa w trakcie przygotowania i prowadzenia ćwiczeń jedno i dwustronnych. KORA/OA tworzy środowisko, w którym przedstawione są stosunki i zależności między działaniami lądowymi, powietrznymi, rozpoznaniem i logistyką. System składa się z kilku oddzielnych modułów przeznaczonych do realizacji różnych zadań. Zasadniczą rolę odgrywają bazy danych obejmujące między innymi dane geograficzne obszaru działań, dane wyjściowe struktur organizacyjnych wojsk własnych i przeciwnika, możliwości taktyczno-techniczne sprzętu bojowego i inne. Centralnym układem systemu jest moduł kalkulacyjny umożliwiający „porównanie” potencjałów bojowych walczących stron. KORA/OA wspiera ćwiczenia dowódczo-sztabowe i szkieletowe na szczeblu korpusu, dywizji i brygady oraz ćwiczenia seminaryjne. Charakteryzuje się komfortową i łatwą obsługą grafiki, krótkim czasem przygotowania ćwiczeń i minimalnymi potrzebami personalnymi (do obsługiwanania).

### 1.1.6.1. Koncepcja symulacji

Koncepcja symulacji oparta na realizacji następujących modeli cząstkowych:

#### **Model wojsk zmechanizowanych i pancernych**

W modelu przedstawione są związki operacyjne i taktyczne od szczebla korpusu względnie grupy armii w dół. Zadania bojowe mogą jednak być stawiane tylko dla jednostek określonych szczebli (z reguły batalion). Zadania te są automatycznie przetwarzane i przekazywane do podporządkowanych pododdziałów. Istnieje również możliwość bezpośredniego stawiania zadań pododdziałom (kompaniom).

Każdy z „ćwiczących” batalionów ma zawsze określone zadanie lub wykonuje określoną czynność, które określają jego zachowanie podczas symulacji. Pododdziały wchodzące w skład symulowanego batalionu realizują jego czynności, tzn. jeżeli batalion naciera, to kompanie realizują to samo.

Rodzaj działań batalionu wynika z:

- aktualnego rozkazu;
- położenia: brak styczności / w styczności z przeciwnikiem;
- celu przemieszczania się - osiągnięty/nieosiągnięty.

Model uwzględnia automatycznie czas potrzebny na planowanie i przygotowanie wojsk, jak również rodzaj prowadzonych działań. Tak więc np. w natarciu uwzględnia dodatkowo czas potrzebny na rekonesanse, a w obronie na rozbudowę inżynieryjną terenu. Uwzględnia się również możliwe straty.

#### **Model artylerii**

Moduł artyleryjski realizuje walkę artylerii przeciwko wojskom zmechanizowanym i artylerii. Wyróżnia:

- bezpośrednie wsparcie ogniowe;
- wsparcie ogólne - zwalczanie artylerii przeciwnika i celów w głębi;
- uwzględnia się wyłącznie konwencjonalne środki rażenia;
- pododdziałem obliczeniowym w artylerii lufowej jest dywizjon lub bateria, a w artylerii raketowej bateria („czerwoni”) i pluton („niebiescy”);
- walka ogniowa i przemieszczanie się jednostek artylerii przebiega automatycznie, lub na rozkaz;

- użycie artylerii ograniczają możliwości wsparcia logistycznego.

### **Model lotnictwa wojsk lądowych**

Lotnictwo wojsk lądowych realizuje różnorodne zadania uwzględniając zagrożenia ze strony obrony przeciwlotniczej i śmigłowców przeciwnika oraz ustalenia dotyczące podziału przestrzeni powietrznej. Realizuje następujące zadania:

- obronę przeciwpancerną;
- wsparcie jednostek wojsk zmechanizowanych;
- działania w głębi (tylko śmigłowce szturmowe);
- osłona, rozpoznanie;
- transport powietrzny/desanty.

### **Model wsparcia powietrznego**

Realizuje następujące zadania:

- **CAS** (*Close Air Support*) - Bezpośrednie Wsparcie Lotnicze
- **BAI** (*Battlefield Air Interdiction*) - Lotnicza Izolacja Pola Walki
- **TAR** (*Tactical Air Reconnaissance*) - Taktyczne Rozpoznanie Lotnicze
- **CAP** (*Combat Air Patrol*) -
- **SEAD** (*Suppression of Enemy Air Defense*) - Obezwładnianie Środków Przeciwlotniczych Przeciwnika

Ponadto uwzględnia elementy składowe zarządzania przestrzenią powietrzną (**LLTR**, **TMMR**, **ROZ**, **RFZ**, **SHORADEZ**). Samolotoloty przydzielane są kierownictwu w czterogodzinnych cyklach. Samolotoloty nie wykorzystane w przewidzianym czasie nie są możliwe do ponownego wykorzystania.

### **Model obrony przeciwlotniczej**

Moduł OPL obejmuje obronę przeciwlotniczą wojsk lądowych i raketową obronę powietrzną. Model pracuje jednocześnie dla strony „niebieskiej” i „czerwonej”. Obrona przeciwlotnicza po stronie „niebieskiej” obejmuje pododdziały przeciwlotnicze jednostek bojowych oraz jednostki raketowe (*Hawk* i *Patriot*). Po stronie „czerwonej” obejmuje jednostki opl, jakie przydzielane są związkom operacyjnym i taktycznym od grupy armii do pułku. Szczeblem obliczeniowym i szczeblem dla którego stawia się zadania jest bateria lub pluton (można to zdefiniować wcześniej).

Moduł OPL pozwala zwalczać samoloty przeciwnika znajdujące się w zasięgu oddziaływania środków przeciwlotniczych w osłanianym przez nie obszarze. Może to być realizowane automatycznie lub w trybie sterowania ręcznego.

### **Model rozpoznania**

Umożliwia symulację użycia sił i środków rozpoznania batalionu, pułku/brygady, dywizji, korpusu/armii. Zbierane, oceniane i przesyłane są wszystkie informacje o przeciwniku w obszarze rozpoznania, a sytuacja rozpoznawcza przedstawiana jest na ekranie.

Moduł rozpoznania obejmuje:

- rozpoznanie elektroniczne i radiotechniczne;
- rozpoznanie artyleryjskie:
  - dźwiękowe,
  - optoelektroniczne;
  - radiolokacyjne;
  - radary nadzorowania pola walki;
  - bezpilotowe środki rozpoznawcze.
- rozpoznanie przy pomocy patroli i grup:
  - rozpoznanie przez patrole;
  - techniczne rozpoznanie pola walki;
  - dalekie rozpoznanie.
- rozpoznanie bojowe (ogólnowojskowe);
- taktyczne rozpoznanie powietrzne.

Użytkownik wpływa na możliwości rozpoznania poprzez dyslokację poszczególnych systemów. Może ponadto żądać określonych rezultatów rozpoznania odpowiednio do planu rozpoznania lub też przez stawianie zadań dla poszczególnych środków. Należy przy tym mieć na uwadze, że im większy jest obszar, który ma „pokryć” odpowiedni system/środek rozpoznania, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo wykrycia bądź umiejscowienia celu.

### **Model wojsk inżynieryjnych**

Moduł realizuje następujące zadania:

- ograniczenie swobody manewru przeciwnikowi:
  - \* szczegółowy model zapór, w którym obiektem symulacji są pojedyncze zapory;

- \* uproszczony model oddziaływania zapór, w którym uwzględniane są techniczne środki do stawiania min, a ich oddziaływanie przeliczane jest tylko ogólnie;
- \* ponadto mogą zostać przygotowane do wysadzenia i wysadzone na komendę drogi i mosty.
- zapewnienie swobody ruchu własnych wojsk:
  - \* uwzględnia działalność pododdziałów drogowo-mostowych (możliwości budowy przepraw itp.);
  - \* środki do wykonywania przejść w zaporach minowych (uwzględnia przy tym zapory własne ograniczające ruch wojsk).
- ochrona własnych wojsk:
  - \* możliwości wojsk inżynierskich w zakresie rozbudowy fortyfikacyjnej terenu.

## **Model logistyki**

### ***1. Zaopatrywanie***

Model wspiera następujące funkcje kierowania logistyką:

- *ocena sytuacji logistycznej* - model stwarza graficzne zobrazowanie sytuacji z siecią zaopatrywania oraz zestawienie sił i środków (możliwości transportowe, przeładunkowe itp.);
- *analizę potrzeb w zależności od wymogów taktycznych* - model dostarcza informacje o zużyciu środków i stanie zapasów. Odpowiednio do ustaleń taktycznych określa potrzeby uzupełnienia środków;
- *przydział środków i planowanie kontyngentów* - model wspiera przydział środków przez odpowiedni system informacyjny (stan, możliwości transportu, zapowiedź dostaw). Kontyngenty ustalane są przez kierownictwo.
- *dyslokacja* - model dostarcza sytuację taktyczną i logistyczną oraz meldunki o ograniczeniach (braki, blokowanie samochodów podczas przeładunków, przekroczenie stanu krytycznego zapasów, braki środków transportu). Poprzez rozkazy do przemieszczenia model otrzymuje dane o nowym rozmieszczeniu obiektów logistycznych. Przemieszczanie obiektów zaopatrywania symulowane jest przez model. Rozmieszczenie sił następuje w

trakcie wprowadzania sytuacji i może być zmieniane przez kierownictwo w trakcie ćwiczenia.

- *prowadzenie zaopatrywania* - transport środków masowego zużycia rozpoczyna się od złożenia zapotrzebowań transportowych. Sam transport symulowany jest przez model. Podczas planowania należy uwzględnić zakłócenia na drogach transportu i uderzenia na obiekty zaopatrywania.

## **2. Zabezpieczenie medyczne**

Model sanitarny jest modelem wstępnym i będzie dalej rozwijany. W obecnym stanie symulacja następuje automatycznie bez możliwości ingerencji ze strony użytkownika. Oznacza to, że wstępna dyslokacja oraz przemieszczanie obiektów służb medycznych uzależniona jest od sposobu prowadzenia działań. Tak więc użytkownik może oddziaływać na model w zasadzie pośrednio poprzez działania taktyczne. Przydział rannych do obiektów służb medycznych następuje automatycznie zgodnie z ich kompetencjami i możliwościami przyjęcia rannych.

## **3. Zabezpieczenie techniczne**

W modelu symulowane są zasadnicze procesy remontowe. Dostarcza odpowiedzi na pytania:

- jakie straty pojazdów kołowych i gąsienicowych poniosły walczące wojska?
- jakie jest obciążenie służb i jednostek remontowych?
- jakie są żądania ewakuacyjne wobec batalionu transportowego?
- jakie są potrzeby dodatkowych możliwości remontowych (wyższego szczebla)?
- jaka jest prognoza dostarczania sprzętu po remoncie?
- jaka jest gotowość pod względem technicznym wojsk zmechanizowanych i pancernych oraz jednostek wsparcia?

## **Model uzupełniania wojsk**

Model uwzględnia normalne procedury uzupełniania stanów osobowych na bazie batalionów i kompanii zapasowych. Jednostki te mogą przemieszczać się za walczącymi wojskami. Uzupełnianie osobowe następuje w sposób manualny. Uzupełnienia z batalionów zapasowych pojawiają się w jednostce, która zażądała uzupełnień, po trzydziestu godzinach niezależnie od odległości.

Straty osobowe są generowane przez model w zależności od skali strat ogólnych. Braki w stanach osobowych prowadzą automatycznie do redukcji zdolności bojowej.

### **Model przemieszczania (ruchu) wojsk**

Model umożliwia symulowanie przemieszczeń ćwiczących wojsk. Możliwy jest przy tym:

- marsz po drogach;
- transport koleją.

Model nie uwzględnia możliwości wykorzystania dróg wodnych, a transport powietrzny zawarty jest w innym module.

Związki, które posiadają pojazdy kołowe i gąsienicowe, mogą wybrać następujące warianty przemieszczania:

- marsz po drogach dla kolumn kołowych i gąsienicowych;
- marsz po drogach dla kolumn kołowych, transport kolejowy dla pojazdów gąsienicowych;
- transport kolejowy dla pojazdów kołowych i gąsienicowych.

#### **1.1.6.2. Matematyczne modele walki**

Określenie strat następuje przy wykorzystaniu równań Lanchestera. Uwzględniono przy tym cały szereg czynników takich jak czas przygotowania, uderzenie w skrzydło, stan wojsk, pora dnia, rodzaj terenu i jego pokrycie. Obsługa modelu następuje z miejsca pracy (pulpitu) KORA/OA.

#### **1.1.6.3. Reprezentacja terenu i otoczenia**

Teren przedstawiony w postaci sieci kwadratów o bokach 125 lub 500 m. Każdy kwadrat opisuje cechy charakterystyczne terenu (ukształtowanie, pokrycie i wysokość) wytwarzane automatycznie przez programy pomocnicze ze standardowych baz danych o terenie. Mosty, drogi i dworce kolejowe są w oddzielnej bazie danych.

### 1.1.7. SimoF

SIMOF [16] jest symulacyjnym modelem wspomaganie ćwiczeń na szczeblu operacyjnym do realizacji połączonych działań lądowo-powietrznych, który zawiera scenariusze działań korpusu na teatrze działań wojennych. Jest przeznaczony do wspomaganie ćwiczeń jedno lub dwustronnych w fazie ich przygotowania, prowadzenia i analizy podczas omówienia.

System składa się z kilku oddzielnych modułów przeznaczonych do realizacji różnych zadań. Zasadniczą rolę odgrywają bazy danych obejmujące między innymi dane geograficzne obszaru działań, dane wyjściowe struktur organizacyjnych wojsk własnych i przeciwnika, możliwości taktyczno-techniczne sprzętu bojowego i inne. Centralnym układem systemu jest moduł symulacyjny umożliwiający symulację działania walczących stron. SimoF wspiera ćwiczenia dowódczo-sztabowe i szkieletowe na szczeblu korpusu, dywizji i brygady oraz ćwiczenia seminaryjne. Charakteryzuje się komfortową i łatwą obsługą grafiki, krótkim czasem przygotowania ćwiczeń i minimalnymi potrzebami personalnymi (do obsługiwanego).

Zastosowany do przygotowywania, przeprowadzania i analizy kolejnych faz ćwiczeń może realizować następujące zadania:

- Tworzenie i testowanie scenariuszy;
- Instalacja struktur organizacyjnych i zgrupowań oddziałów. Równocześnie dostępne są składy i struktury organizacyjne narodowych i wielonarodowych sił.
- Tworzenie raportów i map dla Kierownictwa ćwiczenia..

#### *Faza prowadzenia ćwiczeń jest wspomaganie przez:*

- Wykonanie symulacji w czasie rzeczywistym ( może być przyspieszone lub zwolnione)
- Symulację trendów lub szybką symulację, która pozwala na „Przeskoki operacyjne”, podczas której plany operacyjne ćwiczących sztabów zostają realizowane, a Kierownictwo może mieć przez cały czas wpływ na całą sytuację. Zazwyczaj symulacja jednego dnia konfliktu trwa jedną godzinę.
- Seminaryjny typ ćwiczeń z cyklami decyzyjnymi.

*Faza po zakończeniu ćwiczenia wspomagana jest przez:*

- Natychmiastowy dostęp do wszystkich stanów symulacji w ćwiczeniu, które były przechowywane we wcześniej ustalonych cyklach czasowych (np. co 15 lub 30 min) lub na żądanie Kierownictwa.
- Definiowanie sekwencji stanów symulacji dla potrzeb sesji animacyjnej w celu pokazania rozwoju sytuacji.
- Dostarczanie statystycznych zestawień (np. tablic wyników „Zabójca-Ofiara” i porównań sił).
- Szybka symulacja alternatywnych planów operacji, w celu uzyskania odpowiedzi na pytania „co by było gdyby...”

#### **1.1.7.1. Koncepcja symulacji**

Koncepcja symulacji podobnie jak w systemie Kora, oparta na realizacji modeli cząstkowych

W pełni odwzorowane i sterowalne są procesy „ognia” i ruchu. Jeśli konieczne i potrzebne jest użycie przez operatora manualnego sterowania, to bierze on odpowiedzialność w tym czasie za najważniejsze działania takie jak: zadania artylerii i rakiet lub przesunięcie systemów obrony przeciwpowietrznej.

Kolejność realizacji zadań takich jak marsz, atak, obrona, opóźnianie, rozpoznanie i wychodzenie z walki, zabezpieczenie walki, zabezpieczenie obsługi, zabezpieczenie zadań sił powietrznych jest możliwa obsługiwana przez model.

#### **1.1.7.2. Matematyczny model walki**

Straty są obliczane z użyciem modelu Lanchestera z wykorzystaniem współczynników i prawdopodobieństwa zniszczenia, wyliczanych dla zmieniających się warunków takich jak czas przygotowania, atak na skrzydło, pora doby i teren.

#### **1.1.7.3. Reprezentacja terenu**

Teren i sytuacja jest zobrazowana w dowolnej skali z wykorzystaniem wewnętrznego modelu reprezentacji terenu lub na zeskanowanych mapach w skali od 1: 100000 do 1 : 1 000 000 . Graficzny edytor terenu zapewnia dostęp do każdego pojedynczego kwadratu z digitalizowanego terenu. Sytuacja wojsk lądowych, sytuacja w powietrzu, struktury organizacyjne, różnorodne raporty i rozkazy mogą być wyświetlane na żądanie operatora.

Położenie i przesunięcia wojsk są podawane z użyciem map we współrzędnych UTM z dokładnością do 100m. Dane o terenie wpływają na efektywność działania wojsk i bazują na siatce kwadratów o boku 500 m. lub 2 km. Dla każdego kwadratu przypisana jest informacja o wysokości (topografii) i pokryciu. Dane te są automatycznie generowane przez system DLMS (Digital Land Mass System – system gromadzenia cyfrowych danych o terenie) używany przez firmę IABG. Sieć drogową i kolejową jest reprezentowana w postaci sieci punktów i odcinków.

### 1.1.8. ABS2000

System ABS 2000 jest produktem firmy RAFAEL z Izraela. Oprogramowanie systemu umożliwia symulację działań wojennych dla sił połączonych od szczebla operacyjnego (korpus) do szczebla taktycznego (batalion). W systemie są zaimplementowane wszystkie możliwe modele walk, z wyłączeniem modelu zwalczania okrętów podwodnych z powietrza i modelu walki w powietrzu. W zależności od szczebla dowodzenia, jednostki lub formacje wojskowe prezentowane są jako obiekty zagregowane. Im wyższy szczebel dowodzenia tym większy poziom agregacji. Działania wykonywane przez batalion stanowią sumaryczny efekt działań kompanii wchodzących w jej skład, które nie muszą być zobrazowane „planowane” na szczeblu brygady lub pułku. Rozkazy wysyłane do batalionu ze szczebla brygady są „przetwarzane” na rozkazy do poszczególnych kompanii. Podobnie rozkazy wysyłane do dowódcy korpusu są przetwarzane i przesyłane do dowódców dywizji. Obliczenia niezbędne, na przykład, do wykonania manewru wykonywane są na poziomie elementarnych obiektów pola walki

ABS 2000 [1] jest symulacyjnym modelem pola walki, który umożliwia szkolenie dowódców i sztabów od szczebla batalionu do szczebla korpusu. Wbudowane modele fizyczne pozwalają na w pełni realną symulację pola walki.

System oferuje symulację wielopoziomową, która umożliwia prowadzenia ćwiczeń wieloszczeblowych.

Ćwiczący (dowódcy oraz sztab) umiejscowieni są w punktach dowodzenia i HQ (naturalne środowisko) skąd wydają rozkazy i otrzymują raporty z poległych poziomów dowodzenia (POC ang. *Point Of Contact*) reprezentujących przeciwnika i sąsiadów.

Symulacja jest realizowana w sieci komputerowej. Poprzez realizację fizycznych modeli stwarza się pełną realizację pola walki. Modele te wzajemnie uzupełniają się. Na przy-

kład podczas symulacji każde użycie środków ogniowych powoduje redukcje stanu amunicji, każdy ruch pojazdu, powoduje zużycie zapasu paliwa i zwiększa prawdopodobieństwo mechanicznego zatrzymania, każda wymiana ognia wpływa na ubytek wyposażenia. Ubytek ten wyliczany jest na podstawie terenu, operacji taktycznej i użytej broni.

POC na poziomie batalionu lub kompanii prowadzi walkę na ekranie komputera, na którym obraz walki jest przedstawiony na tle mapy topograficznej.

Na ekranie widoczna jest współpraca z Modelem Cyfrowym Terenu (DTM), Systemem Informacji Geograficznej (GIS), pełną reprezentacją obiektów, taktycznych znaków reprezentujących jednostki, rozmiary jednostek w przestrzeni oraz działań jakie wykonują.

#### **1.1.8.1. Koncepcja symulacji**

Modele symulacji w systemie ABS 2000 mogą być rozpatrywane na dwóch poziomach:

- **modele bazowe;**
- **modele specjalizowane.**

##### **Modele bazowe**

Modele te posiadają fizyczną naturę. Symulują one rzeczywiste działania i procesy stosując matematyczne obliczenia. W zależności od potrzeb używają również specjalizowanych modeli.

Wyróżnia się dwa podstawowe modele bazowe:

- model ruchu (przemieszczenie) - oblicza przyrost przebytej drogi przez jednostki uwzględniając prędkość oraz ograniczenia terenowe.
- model ognia bezpośredniego - prawdopodobieństwo powodzenia jest obliczane na podstawie matematycznych formuł.

##### **Modele specjalistyczne**

Modele specjalistyczne reprezentują i odwzorowują różne typy jednostek. Ich celem jest symulacja unikalnej natury tych jednostek. Modele te dziedziczą i rozszerzają naturę modeli bazowych.

Wyróżnia się następujące modele specjalistyczne:

- model piechoty;
- model artylerii;
- model lotnictwa (samolotów i śmigłowców);
- model OPL;
- model logistyki (zaopatrzenie, odtwarzania , zabezpieczenie medyczne i kadrowe);
- model inżynierski.

Do symulacji oddziaływania jednostek zmechanizowanych i pancernych są skonstruowane odpowiednie, oryginalne modele. Ich działania są symulowane wewnątrz tych modeli i nie potrzebują dodatkowych przystosowań.

### **Model ruchu**

Model ruchu dotyczy ruchu i zatrzymania jednostek. Model ten uwzględnia wiele istotnych współczynników oraz warunków terenowych. W poleceniach ruchu dla jednostek , POC specyfikuje drogę przemieszczenia, która jest określana według współrzędnych. Jednostka przemieszcza się wzdłuż drogi z uwzględnieniem naturalnych i sztucznych przeszkód. POC może określać typ przemieszczenia (administracyjny lub operacyjny) , według wzorca, obserwację kierunku i reakcję na zdarzenia ( albo zatrzymanie i reakcja albo dalszy ruch).

W obliczeniach uwzględnia się następujące współczynniki:

- typ jednostki;
- nachylenie;
- typ;
- przeszkody, skrzyżowania, drogi, tunele, mosty;
- pora dnia;
- warunki pogodowe;
- typ i wzorzec przemieszczenia.

Specjalne warunki są przewidziane dla ruchu piechoty, pojazdów kołowych, lotnictwa i jednostek pływających.

## Model ognia bezpośredniego

Model ten symuluje proces ognia bezpośredniego. Model jest realizowany na polecenie użytkownika lub na podstawie automatycznej reakcji (Automatic Combat Reaction System).

Wzajemne oddziaływanie (uderzenia i straty) generowane są przy pomocy probabilistycznego modelu (zmodyfikowany układ równań Lanchestera), który uwzględnia następujące współczynniki.

- szczebel organizacyjny;
- typ amunicji
- rodzaj celu;
- typ użytej broni;
- rozmiar i sposób ochrony celu;
- rodzaj oddziaływania na cel
- warunki terenowe;
- jakość wykrycia i rozpoznania celu.

Dla każdego typu jednostki jest wyspecyfikowana intensywność ognia oraz zużycie amunicji.

W swojej strefie jednostki automatycznie otwierają ogień do przeciwnika.

## Model wykrywania

Model wykrywania zarządza wykrywaniem jednostek oraz konkretnych obiektów terenowych. Uwzględnia także fizyczne środki wykrywania celów dostępne dla jednostki rozpoznawczej, bierze pod uwagę oddziaływania terenu, warunki środowiskowe i charakterystyki rozpoznanej jednostki lub obiektu. W wyniku realizacji modelu generowana jest lista wykrytych jednostek i obiektów.

Zawiera ona tylko jednostki atomowe i wykrywalne obiekty terenowe w zależności od poziomu rozpoznania.

Wyróżnia się następujące poziomy wykrywania(rozpoznania):

- wykrycie - znany jest rodzaj działania, ale nie jest znana siła;
- rozpoznanie - znany jest typ jednostki (czołgi, piechota), rodzaj działania oraz liczba pojazdów;

- identyfikacja - oprócz powyższych danych, znany jest także typ pojazdów( T-72, M-113, itp.)

Do obliczania linii widoku między obserwatorem a jednostkami lub obiektami wykrytymi stosowane są szczegółowe dane o terenie. Pora doby i efektywność obserwacji są uwzględniane do określania widoczności.

### **Model piechoty**

Model piechoty jest stosowany do symulacji specyficznych charakterystyk i poleceń dla piechoty podczas działań bojowych. Jest on stosowany tylko do jednostek, które nie poruszają się na pojazdach.

#### a) polecenie natarcia

Działania bojowe piechoty prowadzone są na krótkich kwantach (mniej niż 300m). Są one zbyt małe do manualnego sterowania przy pomocy POC.

Polecenie natarcia zostało rozszerzone do modelu oddziaływania na poziomie plutonu przeciwko silnemu punktowi jednostki przeciwnika.

#### b) pozycja piechoty

Pozycja piechoty (silny punkt, bariery, przygotowane pozycje, doraźne pozycje) jest przeszkody takie jak pola minowe , zapory, pozycje ognia, które są usytuowane na danych kierunkach.

Model piechoty przybiera pozycję obiektu punktowego, który określa pozycję przeszkody i pozycję ognia dla każdego z ośmiu kierunków.

Używając polecenia ataku, POC specyfikuje dystrybucję sił atakujących oraz sił broniących, a następnie modeluje pojedynek.

### **Model artylerii**

Model artylerii odwzorowuje interakcję POC z jednostkami artylerii i moździerzy, tak samo jak proces ognia pośredniego, w którym amunicja jest wystrzeliwana do celu zamiast do jednostek przeciwnika jak jest przy prowadzeniu ognia bezpośredniego. Efekt strzelania jest rozpraszany wokół punktu, który jest celem.

Prowadzenie ognia przez artylerię jest podobne do bombardowania przez lotnictwo.

Polecenia prowadzenia ognia pośredniego mogą być inicjowane przez POC oraz (opcjonalnie) mogą być generowane automatycznie przez ACRS, przy czym kolejność niszczenia określana jest na podstawie listy priorytetów.

Istnieje również możliwość manipulacji amunicją, co może spowodować zwiększenie siły ognia.

### **Model oddziaływania lotnictwa**

Model ataku lotnictwa symuluje oddziaływanie lotnictwa na jednostki i obiekty terenowe oraz dostarcza cele dla modelu OPL. Umożliwia trening dowódców w koordynacji powietrznego wspomaganie.

POC wprowadza pojedynczy cel do zbombardowania, czas, typ amunicji, sposób bombardowania, drogę dolotu i powrotu oraz profil ataku.

Sposób (taktyka) nalotów jest inna, gdy wyspecyfikowany jest pojedynczy cel, inna gdy wiele celi zostanie znalezionych w strefie okręgu. pozycja nalotów oraz inne parametry są dostarczane do systemu OPL w dla celów symulacji.

Oddziaływanie lotnictwa jest symulowane przy użyciu procedur modelu artylerii do prowadzenia ognia pośredniego z uwzględnieniem specyfiki używanej amunicji oraz obiektów terenowych.

### **Model oddziaływania śmigłowców**

Model ten jest przeznaczony do symulacji oddziaływania śmigłowców na polu walki, treningu dowódców w stosowaniu broni przeciwpancernej (w obronie i natarciu) podobnie jak w modelu oddziaływania lotnictwa.

W modelu jest możliwa symulacja właściwego natarcia, wykrycia celów, otwarcia ognia pośredniego przeciwko obiektom na ziemi oraz jednostkom lądowym.

Prowadzenie ognia bezpośredniego przez śmigłowce wymaga specyfikacji celów podczas kierowania ogniem. Może być również specyfikowany typ amunicji przez POC lub automatycznie wybierany przez model.

Strefa ognia specyfikuje koło wewnątrz którego cele są niszczone według określonego priorytetu. Kolejność oraz priorytet jest częścią procesu kierowania ogniem gdy cele nie są specyfikowane.

Dane o ugrupowaniu i pozycji helikopterów są przekazywane do modelu OPL dla symulacji jego działania. Prawdopodobieństwo trafienia przez model OPL jest używane do obliczania strat.

## **Model przegrupowania przy pomocy lotnictwa i śmigłowców.**

Model ten dotyczy transportu wozów bojowych, wyposażenia oraz zabezpieczenia medycznego.

Transport z użyciem śmigłowców może lądować w dowolnym miejscu, pasach lądowania i lotniskach, natomiast transport lotniczy może tylko lądować na pasach lądowania lub lotniskach.

Oba rodzaje transportów mogą być wykryte i niszczone przez obronę naziemną oraz powietrzną. Pozycja, prawdopodobieństwo trafienia oraz inne parametry o realizowanym transporcie jest przekazywana do modelu OPL w celu symulacji procesu niszczenia (obliczenia strat).

## **Model OPL**

Model ten jest przeciwieństwem modelu lotniczego. To umożliwia dualność lotnictwa, w którym lotnictwo i śmigłowce symulowane przez Model Powietrzny są niszczone lub kontynuują misję w zależności od ognia OPL. Dzięki temu możliwy jest trening (gra) sił OPL z ich przeciwieństwem, czyli lotnictwem.

Symulacja oddziaływania OPL jest realizowana przed każdym krokiem symulacji działania innych obiektów. Każda jednostka lotnicza decyduje czy jest uszkodzona lub zestrzelona przez jednostki OPL w oparciu o prawdopodobieństwo trafienia oraz pamięta parametry (czas, sposób itp.).

Każda jednostka OPL decyduje o prowadzeniu ognia do lotnictwa jeżeli umożliwia jej to status oraz czy nie został przekroczony czas od momentu wykrycia. Wykrywanie odbywa się przy pomocy radaru lub podporządkowanych obserwatorów.

## **Model zaopatrzenia**

Model ten dotyczy problemu zaopatrzenia jednostek i uzupełnienia zapasów. System zarządzania zapasami umożliwia zarządzanie oraz symulacje zużycia zapasów podczas realizacji gry. Parametry zaopatrzenia są określane przed startem symulacji.

Głównym zadaniem modelu zaopatrzenia jest transfer zaopatrzenia między jednostkami które mogą przyjąć zaopatrzenie a jednostkami zaopatrzenia.

Proces zaopatrzenia jest zatrzymywany gdy spełniony jest jeden z następujących warunków:

- jednostka przyjmująca zaakceptowała żądane zaopatrzenie;

- jednostka zaopatrzenia nie posiadażądanego asortymentu;
- obie jednostki otrzymały różne polecenia;
- jedna lub druga została zniszczona;
- poziom działań jednostki otrzymującej zaopatrzenie jest mniejszy niż żądana wartość.

### **Model zabezpieczenia technicznego**

Model ten dotyczy problemu odtworzenia strat artylerii i innych pojazdów przez jednostki remontowe na trzech poziomach (szczeblach):

Pierwszy poziom uszkodzeń

- przez batalion remontowy. Może ona wyremontować pojazdy w batalionie według zadanego parametru.

Drugi poziom uszkodzeń

- przez batalion remontowy o wyższych umiejętnościach. Może również wyremontować wiele pojazdów w batalionie według zadanego parametru;

Trzeci poziom uszkodzeń

- przez jednostkę remontową szczebla pułku - może wyremontować wszystkie typy uszkodzonych pojazdów, lecz pojazdy muszą być dostarczone do specjalnej bazy remontowej.

Model rozpatruje każdy typ uszkodzeń oddzielnie MTBF, od ognia bezpośredniego lub pośredniego, min itp. Każdy typ uszkodzenia (straty) jest detalicznie opisany pod względem koniecznych części oraz czasu naprawy.

W zależności od poziomu uszkodzenia, proces remontowy może wymagać zaangażowania specjalnych jednostek transportowych.

### **Model zabezpieczenia medycznego**

Model ten dotyczy pojedynczych żołnierzy. Żołnierze mogą być ranni lub zabici na skutek starcia. Model ten symuluje proces leczenia oraz ewakuacji rannych i zabitych do jednostek zabezpieczenia sanitarnego i szpitali.

Model umożliwia diagnozę leczenia rannych, zużycie medycznego wyposażenia, dostępności środków medycznych. Ranny żołnierz przebywa w jednostce macierzystej aż do polepszenia stanu zdrowia lub jest automatycznie przenoszony do jednostki medycznej. Po otrzymaniu pierwszej pomocy, ranny przenoszony jest do szpitala.

Priorytety pomocy są zdeterminowane przez fizyczne diagnozy, nawet jeśli są błędne.

Jeżeli ciężko lub średnio ranny żołnierz nie otrzyma pomocy w ciągu jednej godziny od momentu zranienia, jego stan ulega pogorszeniu i nawet może umrzeć.

Szpital jest ostatnim punktem ewakuacji. Jeżeli ranny żołnierz znajdzie się w szpitalu jego stan nie może się pogarszać.

### **Model uzupełniania kadrowego**

Żołnierze są zarządzani przez wewnętrzny mechanizm inwentarza na poziomie jednostki atomowej (elementarnej). Do tej jednostki przydzielani są żołnierze o różnych specjalnościach. Są oni niezbędni do obsługi pojazdów jednostki elementarnej.

Ruchy kadrowe w jednostkach elementarnych są dokonywane przez model zaopatrzenia (wirtualnie lub w rzeczywistości). Wirtualny transfer oznacza, że żołnierze są przenoszeni po okresie czasu, który jest proporcjonalny tylko do odległości między jednostkami. Nie bierze się pod uwagę pozostałych parametrów (warunki terenowe, przeciwnik, itp.). Transfer rzeczywisty jest realizowany przez opcję zaopatrzenia rzeczywistego i wymagany jest bliski kontakt między jednostkami.

### **Model inżynieryjny**

Model ten zarządza przeszkodami, polami minowymi, przeprawami itp. Jednostki inżynieryjne są charakteryzowane przez różnorodne wyposażenie inżynieryjne używane do tworzenia i usuwania przeszkód. Detonatory są używane do niszczenia ważnych mostów, tuneli lub do tworzenia opóźnień na drogach.

Przeszkody mogą być naturalne lub sztuczne. Mogą być stałe (np. rowy przeciwczołgowe), aktywowane przez poruszające się jednostki (pola minowe), aktywowane przez jednostkę inżynieryjną (kontrolowane wybuchy). Przeszkody sztuczne są przygotowywane na poziomie trzech poziomów funkcjonalności.

Model uwzględnia działanie kilku typów jednostek inżynieryjnych takich jak mostowe, zaminowania, trały itp.

#### **1.1.8.2. Matematyczne modele walki**

Symulator składa się z rdzenia symulacji, który zarządza symulacją i modelami jak np. matematycznym modelem ognia bezpośredniego. W tych modelach prawdopodobieństwo powodzenia jest wyliczane na podstawie matematycznych formuł. Inne modele używają me-

tod Monte Carlo. Uszkodzenia są wyliczane na podstawie wskaźnika MTBF. Model wykrywania stosuje dobrze znany model Jonsona.

Symulacja jest oparta na decyzjach ćwiczących wprowadzanych przez POC. Symulator jest prowadzony przez zasadę człowieka i dużo wysiłku jest poświęcone w realizację komunikacji z użytkownikiem.

### **1.1.8.3. Reprezentacja otoczenia (terenu)**

Taktyczny interfejs jest wspomagany wyświetlaniem terenu. Mapy bazują na rzeczywistych mapach warstwach rastrowych, wektorowych i symboli graficznych. Topograficzna mapa jest podkładem dla wszystkich informacji wyświetlanych na ekranie. Ekran jest wirtualnym oknem mapy.

Użytkownik może dokonywać selekcji warstw, które mogą być wyświetlane.

Teren może być zorganizowany w trzech warstwach:

- Format rastrowy
- Mapa wysokościowa
- Obiekty terenowe

#### **Format rastrowy**

Format rastrowy jest tylko podkładem mapowym dla POC i nie jest wymagany do symulacji. Rastrowe podkłady mapowe powinny być skanowane w lokalnym biurze Topografii.

#### **Mapa wysokościowa**

Format wysokościowy jest używany przede wszystkim przez model ruchu i model rozpoznania. Jest on stosowany do obliczeń linii widoczności z zadanego punktu.

System zawiera (*Digital Heights Map*) dane o wysokościach mapowanego obszaru. Odstęp między punktami może wynosić 50 metrów. DHM jest używany do obliczeń takich jak linia widoczności lub zdolności przepustowej.

#### **Obiekty terenowe**

Niezbędne do symulacji dane niedostępne w standardowych mapach topograficznych pamiętane i wyświetlane są jako dane topograficzne. Ten typ danych nazywa się obiektami terenowymi.

Obiekty terenowe ... (np. ruch najlepiej jest realizowany po drogach, jednostki położone w lesie są trudniej wykrywalne itp.) Pełny opis oddziaływania każdego typu obiektu reprezentuje specyfikacja modelu.

Dodatkowo system umożliwia digitalizację taktycznych obiektów terenowych na mapie i definiowanie ustawień atrybutów i ich wartości dla każdego obiektu.

Obiekty terenowe pamiętane są w jednym z trzech formatów: punkt, linia, polylinia i region.

Reprezentacja geometryczna obiektów typu punkt odbywa się poprzez współrzędne. Obiektów typu polylinia - poprzez listę współrzędnych. Natomiast reprezentacja regionu poprzez listę współrzędnych oraz wypełnienie - jako listę obszarów wewnątrz regionu.

Obiekty terenu definiowane są przez:

- Klasę (np. las);
- Geometrię (współrzędne);
- Typ (np. sad);
- Atrybuty (wysokość, szerokość).

W systemie jest zdefiniowana kompletna lista wszystkich obiektów terenowych takich jak: kierunek (oś); most; obszar zabudowany, pojedynczy budynek, roślinność, rodzaj pokrycia gleby, rzeki, obszary wodne, porty, przeprawy, tunele, linie drzew, drogi.

Terenowe obiekty taktyczne to : pozycje piechoty, pola minowe, zapory przeciwpancerne, przeszkody, mosty, pasy przez pola minowe, pozycje pojazdów.

### **Baza danych środowiska**

Moduł środowiska dotyczy głównie modelu pogody (temperatura, widoczność itp.) i pory dnia. Parametry środowiska wpływają głównie na modele ruchu. Model pogody kreuje rzeczywistą sekwencję zdarzeń i zapewnia całość logicznego opisu. Dane mogą być edytowane specjalnym edytorem środowiska (otoczenia) EDS, który umożliwia planowanie pełnego scenariusza na wiele dni.

### 1.1.9. JTLS

JTLS (Joint Theater Level Simulation) jest interaktywnym systemem umożliwiającym prowadzenie wielostronnej gry wojennej i modelującym działania sił lądowych, morskich, powietrznych a także sił specjalnych i wywiadu w układzie koalicyjnym systemów uzbrojenia lub prawdopodobieństwem zniszczenia.

JTLS został tak zaprojektowany, by mógł być wykorzystany jako:

- Narzędzie analityczne w procesie planowania
- System wspomagający proces edukacyjny
- System wspomagania ćwiczeń i szkoleń.
- Podstawowe narzędzie do badania rezultatów walk.

System JTLS składa się z sześciu głównych modułów programowych oraz wielu mniejszych programów wspomagających, które w połączeniu ze sobą służą przygotowaniu scenariusza gry wojennej, prowadzeniu gry oraz analizie otrzymanych rezultatów. JTLS, zaprojektowany jako narzędzie do opracowywania i analizowania planów operacyjnych, posiada wbudowany model symulacji, który nie jest zależny od konkretnego teatru działań oraz nie wymaga znajomości programowania. System JTLS może pracować na pojedynczym komputerze jak i w sieci.

#### 1.1.9.1. Koncepcja symulacji

Koncepcja symulacji (podobnie jak w pozostałych modelach) jest oparta o zastosowanie szeregu modeli cząstkowych, które określają zakres funkcjonalności oraz adekwatności modelu. Należy zaznaczyć, że wiele tych modeli cząstkowych występuje w innych systemach symulacji (JANUS, ABS2000, JSIM), ale bazują one na innych modelach walk, do których użyto różnych opisów matematycznych lub wręcz zrezygnowano z modelowania matematycznego preferując modele fizyczne. Natomiast relacje pomiędzy poszczególnymi modelami mają decydujący wpływ na szczebel dowodzenia na którym działania są symulowane w sposób możliwie jak najwierniejszy rzeczywistości.

Poniżej przedstawiono modele cząstkowe, które wchodzą w skład modelu bazowego.

## **Modele działań na lądzie**

- Bezpośrednia walka ogniowa;
- Walka z pośrednią wymiana ognia;
- Przemieszczenie;
- Atak;
- Pospieszna obrona;
- Przygotowana obrona;
- Opóźnienie;
- Wycofanie;
- Efekty opóźniające min lądowych i ich wpływ na walkę;
- Bliskie wsparcie z powietrza;
- Dowodzenie, kierowanie i łączność (C3);
- Wpływ skażeń chemicznych i promieniotwórczych na działania operacyjne;
- Działania wojsk inżynierskich, obejmujące także budowę mostów i przepraw;
- Dołączanie, odłączanie i odtwarzanie jednostek;
- Rozmieszczanie min przez artylerię, lotnictwo lub jednostki sił lądowych;
- Niszczenie i naprawa wyznaczonych celów;
- Działania specjalnych sił operacyjnych;
- Tworzenie różnych układów koalicyjnych;
- Szczegółowe reguły nawiązywania walki na lądzie;
- Współpraca cywilno-wojskowa i operacje psychologiczne (PSYOPS);
- Wydzielanie małych jednostek (formacji) w celu wykonania różnych operacji taktycznych;

## **Modele działań w powietrzu**

- Powietrzny system kontroli przestrzeni powietrznej i ostrzegania;
- Walka elektroniczna;
- Tankowanie w powietrzu;
- Eskortowanie w powietrzu;
- Rozpoznanie z powietrza;
- Obrona przeciwlotnicza (obejmująca naziemne i powietrzne systemy alarmowania);
- Atak z powietrza na powierzchnię lądu lub morza;

- Bliskie wsparcie z powietrza (obejmujące naziemne i powietrzne systemy alarmowania);
- Rozpoznanie, samolotami bojowymi jak i rozpoznania, wliczając w to rozpoznanie rejonów wskazanych;
- Zrzut z powietrza lub zaopatrzenie drogąpowietrzną;
- Transport drogą powietrzną jednostek lub dostaw;
- Zadania lotnicze;
- Zakładanie z powietrza pól minowych na morzu i lądzie; n. Zwalczanie okrętów podwodnych;
- Kierowania z powietrza zadaniami na lądzie (Orbiting Air Ground Missions-OAG);
- Angażowanie w czasie rzeczywistym powietrznych systemów kierowania i zmienianie zadań ofensywnych na lądzie;
- Angażowanie się w zadania lotnicze w celu uniemożliwienia wykonania zadań lotniczych przez przeciwnika;
- Identyfikacja swój-obcy (IFF) wliczając w to identyfikację nieokreśloną;
- Szczegółowe reguły nawiązywania walki w powietrzu oraz w układzie powierzchnia-powietrze (Rules of Engagement);
- Ustanowienie łącz do koalicjantów w celu wymiany informacji przechwyconej przez środki lotnicze;
- Operacje poszukiwawczo-ratownicze w celu ratowania zestrzelonych pilotów;
- Działania Zintegrowanego Systemu Obrony Powietrznej (Integrated Air defense System).

### **Modele działań wywiadowczych**

- Prowadzenie okresowego rozpoznania i tworzenie okresowych meldunków wywiadowczych;
- Bezpośrednie działania wywiadowcze prowadzone przez mate oddziały;
- Przesyłanie meldunków z miejsc wykonywania zadań przez sity lądowe i powietrzne;
- Prowadzenie niezależnego rozpoznania pola walki przez każda ze stron konfliktu;
- Selektowne dzielenie się informacjami wywiadowczymi pomiędzy koalicjantami;
- Ograniczone działania wywiadowcze w odniesieniu do celów i jednostek przeciwnika;
- Udostępnianie środków wywiadowczych narodowych jak i koalicyjnych;
- Tworzenie sieci łączności.

### **Modele działań logistycznych:**

- Skutki działań logistycznych na zdolność bojową wliczając w to przywracanie sprawności systemom bojowym;
- Zautomatyzowane zaopatrzenie logistyczne (np. bieżące uzupełnianie zapasów, ustalanie poziomów zaopatrzenia, planowanie zamówień z wyprzedzeniem);
- Określanie norm zaopatrzenia według kategorii dostaw;
- Kierowanie dostaw do jednostek przez bezpośrednio przez ćwiczącego;
- Transport zaopatrzenia koleją, barkami lub pojazdami;
- Zaopatrzenie rurociągami;
- Ukrywanie własnych zapasów i przechwytywanie zapasów przeciwnika;
- Działania portowe przy transporcie morskim zarówno wewnątrz teatru działań jak i poza nim;
- Wykorzystanie infrastruktury transportowej (mosty i tunele)
- Losowe awarie i uszkodzenia;

### **Modelowanie działań na morzu**

- Działania lotnictwa sił morskich tak jak dla operacji powietrznych;
- Transport droga morską;
- Strefa pokrycia dla radarów morskich;
- Użycie rakiet klasy powierzchnia-powierzchnia i dział okrętowych;
- Wsparcie ogniowe dla sił morskich;
- Różne układy koalicyjne i różne strony konfliktu;
- Defensywne i ofensywne morskie operacje desantowe;
- Morskie działania minowe, wliczając w to trałowanie, zakładanie pól minowych i zadawanie strat;
- Przemieszczanie jednostek morskich w tym okrętów podwodnych;
- Działania okrętów podwodnych;
- Patrowanie akwenów morskich;
- Wpływ głębokości wód na prowadzone operacje morskie.

Dodatkowo w modelach JTLS CEP uwzględnia się wpływ chorób na personel. W zależności od rodzaju choroby lub odniesionych ran, osoby mogą bądź umierać lub powracać do zdrowia. Stan zachorowań w jednostkach ujmowany jest w okresowych meldunkach sytuacyjnych.

## Procedura zdarzeniowa w symulacji

JTLS to system symulujący działania sił połączonych na szczeblu teatru działań (najogólniej jest to szczebel operacyjny). Jako taki odzwierciedla kluczowe aspekty wojny w powietrzu i na lądzie z uwzględnieniem wspierającej roli sił morskich.

Symulacja może być wykonywana w czasie rzeczywistym (ciągłym) lub w czasie dyskretnym. JTLS to dyskretny system symulacji. Oznacza to, że symulacja może być takto- wana odcinkami czasowymi lub konkretnymi zdarzeniami, które zachodzą w czasie. W sy- mulacji sterowanej zdarzeniami, zmiana stanu w systemie następuje w określonych momen- tach czasu, w których dochodzi do oddziaływanie pomiędzy elementami systemu.

Podstawowymi elementami składowymi systemu dynamicznego są określone działania. Ist- nieją dwie ważne cechy działań:

- Zajmują one czas (wymagają określonego czasu realizacji);
- Potencjalnie mogą zmienić stan systemu.

Na etapie tworzenia scenariusza, jego projektant musi w taki sposób określić zdarze- nia, aby możliwy był powrót do symulacji w czasie rzeczywistym. Wynika to z podstawowe- go założenia, że symulacja nie może być „zatrzymana” w okresach między zdarzeniami. Ćwi- czący muszą odczuwać realny upływ czasu.

Działania na polu walki są symulowane w taki sposób, aby stan systemu zmieniał się prawidłowo po wystąpieniu zdarzenia (event). Zdarzenia muszą być wykonywane w okre- ślonej sekwencji odpowiadającej kolejności zdarzeń w systemie rzeczywistym.

Każde działanie, na które składa się ciąg zdarzeń, jest w systemie ograniczone dwo- ma zdarzeniami: startem i zatrzymaniem. Zdarzenie stanowi najprostszy element opisu dzia- lania. Istnieją dwie główne cechy zdarzenia:

- Występuje ono w pewnej chwili czasowej;
- Występuje chwilowo, przez bardzo krótki czas.

Zdarzenia wywołują zmiany w przebiegu symulacji. Ponieważ zdarzenia odpowia- dają za wszystkie najważniejsze zmiany stanu systemu, to nie jest konieczne bardzo dokładne określanie czasu przejść między tymi zdarzeniami. Inaczej mówiąc, symulacja w tym przy- padku napędzana jest zasadniczo przez zdarzenia typu start lub koniec, a nie precyzyjnie za- dawanych okresów czasowych. Jest to istotne dla programowania pętli czasowych w procesie symulacji.

Symulacja sterowana zdarzeniami została wybrana dla systemu JTLS z dwóch po- wodów:

- Kluczowe procesy zachodzące na szczeblu teatru działań oraz walkę w przestrzeni powietrze-ląd najłatwiej jest wizualizować w formie zbiorów dyskretnych zdarzeń;
- Symulacja sterowana zdarzeniami jest względnie najszybsza i pozwala w efektywny sposób wykorzystać zasoby komputerowe.

### Synchronizowanie czasu symulacji z czasem rzeczywistym.

System gwarantuje, że następne zdarzenie, które ma być przetwarzane to zdarzenie o najwcześniejszym czasie rozpoczęcia. Procedura polegająca na natychmiastowym wykonywaniu następnego zdarzenia nie może być efektywnie używana w symulacyjnej grze otwartej w której decyzji oddziałują symulację w sposób interaktywny.

System JTLS zapewnia synchronizację czasu symulacyjnego z czasem rzeczywistym, czyli czasem wskazywanym przez realne zegary. Tylko wtedy grający będą mogli podejmować decyzje oraz wykorzystywać przydzielone siły z uwzględnieniem realistycznych czasowych ograniczeń i wymagań. Proces synchronizacji oparty jest o parametr przedstawiający proporcję pomiędzy czasem symulacyjnym a czasem rzeczywistym. Parametr ten o nazwie GAME RATIO może przyjmować każdą nieujemną wartość, którą kontroler gry symulacyjnej (Game Controller) może zmieniać w czasie pracy systemu JTLS. W tabeli przedstawiono możliwe wartości współczynników proporcjonalności czasowych i ich znaczenie.

Tabela 1. Wartości współczynników czasowych

PROPORCJA CZASOWA	WPLYW WSPÓLCZYNNIKA PROPORCJI
0.0 : 1	Czas symulacji jest zatrzymany. Dla wybranego modelu symulacji czas nie płynie. Model akceptuje polecenia grającego. Ponieważ czas nie jest odmierzany żadne zdarzenia ani polecenia nie będą wykonywane dopóki nie zostanie zwiększon ws ólc ik ro orc'on-alności.
Mniej niż 1.0 : 1	Czas symulacyjny płynie wolniej niż czas rzeczywisty. Grający mają więcej czasu na podejmowanie decyzji niż w realnej sytuacji. Na przykład, przy współczynniku 0.5, 30 minut symulacji odpowiada upływowi czasu rzeczywistego
1.0 : 1	Czas symulacyjny i czas rzeczywisty są takie same. Każdej godzinie gry odpowiada godzina czasu rzeczywistego
Więcej niż 1.0 : 1	Symulacja przebiega szybciej niż miałoby to miejsce w czasie rzeczywistym. Na przykład, dla współczynnika 4.0, cztery godziny przebiegu symulacji odpowiadają godzinie czasu rzeczywistego

Generalnie, synchronizacja czasu realizowana jest w języku SIMSCRIPT i polega na wybieraniu kolejnych zdarzeń z listy zdarzeń (Event List) oraz przesyłaniu ich do przetwarzania przez główny program (CEP) zgodnie z wcześniej zadany harmonogramem czasowym.

### **1.1.9.2. Matematyczne modele walki**

System wspomaga w doborze współczynników modelu Lanchaster'a które są wykorzystywane w ocenie rezultatów walk pomiędzy elementami sił lądowych na lądzie. Użytkownik wpisuje żądany skutek walki w określonym polu danych wejściowych, a system generuje tabelę zalecanych współczynników modelu Lanchester'a. System pełni także funkcje weryfikacyjną umożliwiając użytkownikowi oglądanie rezultatów walk toczonych przez długi czas pomiędzy dwoma lub więcej jednostkami. Natomiast skuteczność ataku na cele naziemne, powietrzne lub morskie wyznaczana jest skutecznością rażenia systemów uzbrojenia lub prawdopodobieństwem zniszczenia. Rezultaty walk wyświetlane są w formie tabelarycznej.

### **1.1.9.3. Reprezentacja terenu (otoczenia)**

Teren jest zobrazowany w postaci plików danych o terenie, które zawierają dane o zobrazowanym na mapie JLTS rastrem sześciokątnym. Pozwala on użytkownikowi wyświetlać wybrane dane o terenie, które nakładają się na wybraną mapę wektorową. Istnieje możliwość doboru skali zobrazowania, wybierania specyficznych obszarów mapy oraz wyświetlania współrzędnych w siatce z rastrem sześciokątnym. Można podglądać atrybuty przypisane sześciokątom na mapie (np. typ terenu, typ przeszkody, wysokość dla danego sześciokąta) i w razie potrzeby je zmieniać.

W systemie istnieją narzędzia, które udostępniają następujące informacje o położeniu:

- Szerokość i długość geograficzną wyrażoną w postaci tekstowej lub dziesiętnej
- Współrzędne pół sześciokątnych
- Uniwersalna Siatka Merkatora (UTM)
- Wojskowa siatka współrzędnych

Po wpisaniu i zatwierdzeniu położenia, system przetwarza je na trzy pozostałe systemy współrzędnych. Wyświetlane są wszystkie cztery reprezentacje.

## 1.2.Synteza realnych modeli walki

Szczegółowość opisu przedstawionych powyżej modeli symulacyjnych, które są zastosowane w systemach wspomagania ćwiczeń jest uzależniona od dostępnej w tym zakresie literatury i własnych doświadczeń autorów (Model-5, SimoF i ABS2000, JTLS). Dlatego też najbardziej szczegółowo opisane zostały systemy Model-5, CBS i KORA oraz JTLS, w węższym zakresie ABS2000, a o systemie SimoF, BBS, oneSAF oraz JANUS nasza wiedza jest znikoma. Można przypuszczać, że rozwiązania w zakresie modeli matematycznych są zbliżone do rozwiązań zastosowanych w systemie KORA czy JTLS.

W systemie CBS, KORA, ABS2000 oraz JTLS symulowane są praktycznie wszystkie procesy związane prowadzeniem działań bojowych takie jak:

- ✓ oddziaływanie:
  - ogniem bezpośrednim,
  - ogniem pośrednim,
  - lotnictwem sił powietrznych,
  - lotnictwem wojsk lądowych,
  - opl,
  - inżynierską rozbudową terenu,
  - bronią chemiczną,
  - bronią jądrową – w przypadku CBS,
- ✓ proces ruchu:
  - przemieszczania na polu walki (natarcie piechoty, na pojazdach itp.),
  - przegrupowania (marsze na kołach, przewozy w tym również koleją itp.),
  - przerzuty i desanty,
- ✓ rozpoznania,
- ✓ logistyczne:
  - zaopatrzenie,
  - zabezpieczenie techniczne,
  - zabezpieczenie medyczne,
- ✓ uzupełnienie kadrowe.

Tak więc w ćwiczeniach wspieranych tymi systemami mogą ćwiczyć wszystkie komórki sztabów, a jakość ich pracy ma wyraźny wpływ na symulowane działania wojsk. Wszystkie

wyżej wymienione procesy mają swoje odwzorowanie w cząstkowych modelach funkcjonalnych. Każdy z nich realizuje specyficzną naturę poszczególnych elementów pola walki. Realizacja jednego z nich wpływa na zachowanie się pozostałych. W systemach tych najczęściej wyróżnia się następujące modele cząstkowe:

- piechoty,
- wojsk zmechanizowanych i pancernych,
- artylerii,
- lotnictwa sił powietrznych,
- lotnictwa sił lądowych,
- obrony przeciwlotniczej,
- rozpoznania,
- wojsk inżynieryjnych,
- zaopatrzenia,
- zabezpieczenia technicznego,
- zabezpieczenia medycznego,
- uzupełnień kadrowych,
- ruchu.

W modelu CBS, KORA i SimoF, JTLS oraz w Model-5 procesy wzajemnego niszczenia są oparte na różnych modyfikacjach klasycznego modelu Lanchestera. Wiadomo, że w systemie CBS i KORA rozpatrywane jest wzajemne oddziaływanie systemów broni w ujęciu ilościowym. W systemie Model-5 oddziaływanie rozpatrywane jest w ujęciu jakościowym (potencjałowym). W systemie ABS2000 do rozwiązania tego problemu zastosowano modele probalistyczne. Ich szczegółowość stanowi tajemnicę firmy *Raphael*.

Wszystkie systemy uwzględniają wpływ terenu na prowadzone działania wojsk. Zróżnicowana jest reprezentacja terenu (model terenu) w tych systemach. W systemach CBS i KORA, JTLS analiza terenu jest prowadzona w oparciu o podział terenu na elementarne jednostki (kwadraty, sześciokąty o boku 3 km, 2 km, 500m.) dla których zostały określone następujące atrybuty: przejezdność, roślinność, zabudowa, wysokość, ufortyfikowanie, drogi, rzeki, mosty, przeszkody itp.

W systemie ABS2000 teren jest odwzorowany poprzez numeryczny model wysokości oraz mapy wektorowe (zawierające tematyczne warstwy).

Każdy z wyżej wymienionych systemów oferuje mapy rastrowe w różnych skalach jako podkłady mapowe do przedstawiania sytuacji operacyjno-taktycznej wojsk.

Model-5 uwzględnia teren w sposób uogólniony poprzez określanie rzeźby i pokrycia przez użytkownika (na podstawie klasycznej mapy topograficznej).

Wszystkie uwzględniają wpływ:

- warunków meteorologicznych,
- pory doby,
- czasu.

Oprogramowanie w/w systemów symulacyjnych posiada strukturę warstwową przedstawioną w tabeli 2

Tabela 2. Struktura systemów symulacyjnych

WARSTWA UŻYTKOWA (przykładowe modele i moduły)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- sterowanie symulacją</li> <li>- model konfliktu</li> <li>- model dowodzenia i kierowania</li> <li>- model systemu łączności</li> <li>- modele cząstkowe</li> <li>- model informacyjny</li> <li>- moduły synchronizacji</li> </ul>	
WARSTWA ZARZĄDZANIA OBIEKTAMI SYMULACYJNYMI	
WARSTWA POŚREDNIA np. DCOM, DCE, CORBA (platformy software)	
TCP/IP	NFS
Usługi sieciowe	
Usługi sieciowego systemu operacyjnego	
WARSTWA SIECIOWA	

Usługi świadczone przez poszczególne warstwy i komunikacja między warstwami nie są związane z konkretnym systemem symulacyjnym, a wynikają z warstwowego modelu ISO dla sieci komputerowych.

Analiza wyżej wymienionych modeli pozwoliła autorom na sprecyzowanie wymagań i założeń do projektowanego modelu symulacyjnego walki.

## 1.3. Zastosowanie symulacyjnych modeli walki w ćwiczeniach typu CAX

### 1.3.1. Typowy scenariusz ćwiczenia dowódczo – sztabowego

Każde ćwiczenie, w tym dowódczo – sztabowe<sup>1</sup> (*Command Post Exercise – CPX*), a w ramach CPX – ćwiczenia wspomagane komputerowo<sup>2</sup> (*Computer Assisted Exercise – CAX*) obejmuje trzy etapy:

1. **przygotowanie** (*preparation*) (programowanie i planowanie)
2. **prorowadzenie** (*execution*)
3. **ocena** (*evaluation*)

Dla takiego ćwiczenia można określić **typowy przebieg realizacji ćwiczenia CAX** (wg poglądów NATO). Jest on następujący:

#### **Etap przygotowania ćwiczenia**

1. *Concept Development Conference*
2. Przedwstępna Konferencja Planistyczna - *Pre-Initial Planning Conference (Pre\_IPC)*
3. Wstępna Konferencja Planistyczna - *Initial Planning Conference (IPC)*
4. Główna Konferencja Planistyczna - *Mid Planning Conference (MPC)*
5. Końcowa Konferencja Planistyczna - *Final Planning Conference (FPC)*
6. Przygotowanie ćwiczących- *Pre-CAX*

#### **Etap prowadzenia ćwiczenia**

7. Ćwiczenie dowódczo – sztabowe wspomagane komputerowo – *CAX*

---

<sup>1</sup> Ten typ ćwiczeń wyodrębniony został ze względu na **formę**. Jest to jedno z kryteriów klasyfikacji ćwiczeń w NATO zgodnie z dokumentami normatywnymi – *Bi-MNC Exercise Guide, 16 November 1998, s.A-2*. Kryterium to dotyczy zewnętrznej strony organizacyjnej i kształtu ćwiczenia oraz metody jego przeprowadzenia na jaką zdecydował się oficer planujący ćwiczenie (*Officer Scheduling the Exercise – OSE*). Pozostałe formy to: ćwiczenia z wojskami (*Live Exercise – LIVEX*) oraz studyjne (*Exercise Study*).

<sup>2</sup> Ten typ ćwiczeń wyodrębniony został ze względu na **rodzaj**. Jest to następne kryterium klasyfikacji ćwiczeń w NATO. Kryterium to dotyczy wewnętrznej strony organizacyjnej ćwiczenia oraz sposobu jego przeprowadzenia. Ze względu na to kryterium wyróżnia się ćwiczenia „syntetyczne” (*Synthetic Exercise – SYNEX*), czyli takie w których strona własna i/lub strona przeciwna nie występuje realnie, tylko wirtualnie, czyli jest odwzorowywana w symu-

## **Etap oceny ćwiczenia**

Często realizowana jest wymiana spostrzeżeń bezpośrednio po ćwiczeniu - *First Impression Report (FIRs)*, albo jego omówienie - *After Action Review (AAR)*

### 8. Końcowy raport z ćwiczenia - *Final Exercise Report (FER)*

W SZ RP<sup>3</sup> ćwiczenia dowódczo sztabowe typu CAX realizowane są podobnie. Istota ćwiczeń dowódczo – sztabowych polega na tym, że ćwiczące zespoły stanowią jednolity w swej strukturze jeden (lub kilka) organ dowodzenia, który doskonali swoją wiedzę i umiejętności w pracy dowódczo - sztabowej. Cel prowadzenia takich ćwiczeń, ich istota i zakres merytoryczny są tożsame z ćwiczeniami CPX realizowanymi w SZ państw NATO. Wspomaganie komputerowe ćwiczeń typu CPX wpływa istotnie na wzrost jakości szkolenia.

Jednak zakres wykorzystania środków informatyki (tak sprzętowych jak i programowych) w ćwiczeniach jest zazwyczaj różny. Wynika to zarówno z możliwości organizatorów ćwiczenia (dowództw i sztabów) jak i ich potrzeb – z drugiej strony. Niemniej ćwiczenia wspomagane komputerowo pozwalają realizować wieloszczeblowe ćwiczenia dowódczo – sztabowe, w których dowództwa i sztaby znajdują się w rozproszeniu geograficznym, a realizowane ćwiczenie obejmuje w swojej treści operacje połączone z uwzględnieniem komponentu niemilitarnego w postaci gry wojennej. W aspekcie merytorycznym natomiast – pozwalają obiektywizować ocenę wypracowanych decyzji przez ćwiczących, prognozować skutki tych decyzji, przyspieszać obieg informacji poprzez przesyłanie rozkazów, zarządzeń i meldunków w sieci komputerowej oraz umożliwiają im pracować w warunkach zbliżonych do występujących na hipotetycznym polu walki.

Ćwiczące dowództwa i sztaby wszystkich szczebli mają zatem możliwość:

- śledzenia rezultatów działań bojowych w określonych obszarach działania;
- modyfikacji przebiegu działań bojowych

Podstawowym wymaganiem dla systemu komputerowej symulacji pola walki jest możliwość jego zastosowania w każdym etapie ćwiczenia: przygotowania, prowadzenia i oceny.

---

latorach, bądź w podobnych systemach komputerach. W tej klasie mieszczą się ćwiczenia typu CAX.

W etapie **przygotowania** ćwiczenia:

- kreacja nowych i/lub modyfikacja oraz testowanie opracowanych scenariuszy;
- kreacja nowych i/lub modyfikacja opracowanych struktur organizacyjnych oraz ich uzbrojenia i wyposażenia;
- formalizacja obiegu informacji w postaci zestandaryzowanych dokumentów
- opracowanie wielowariantowych planów konceptualizowanej operacji

W etapie **prowadzenia** ćwiczenia:

- symulację działań bojowych w czasie rzeczywistym;
- organizacja przyspieszeń - „przeskoków” czasowych w symulacji działań bojowych;
- modyfikacja przebiegu zaplanowanej operacji

W etapie **oceny** ćwiczenia:

- opracowanie całościowej / częściowej sytuacji bojowej w dowolnych momentach czasu;
- przedstawienie całościowej / częściowej sytuacji bojowej w szeregach czasowych
- opracowanie wyników działań bojowych
- symulacja alternatywnych planów operacji

**Typowa organizacja uczestników ćwiczenia CAX** – powoływana do bytu rozkazem dowódcy w sprawie organizacji i przeprowadzenia ćwiczenia dowódczo – sztabowego<sup>4</sup>.

- **Kierownictwo ćwiczenia** (Kierownik, Zastępca ds. Wojsk Lądowych, Zastępca ds. Sił Powietrznych, Zastępca ds. Marynarki Wojennej, Szef sztabu ćwiczenia);
- **Zespół Głównych Rozjemców** (Kierownik Zespołu, Operacyjny, Taktyczny, Logistyczny, Rozpoznania, WRiA, OPL, OPChem, Winż, Lotnictwa, Dowodzenia SP, Logistyki SP);

---

<sup>3</sup> Instrukcja o przygotowaniu i prowadzeniu ćwiczeń z dowództwami i sztabami w SZ RP, W-wa 1995

<sup>4</sup> Do realizacji etapu przygotowania (fazy planowania) ćwiczenia wyznacza się **Zespół Autorów** ćwiczenia. Pracą tego zespołu kieruje **Główny Autor Ćwiczenia**.

- **Zespół Koordynujący** (Kierownik Zespołu, sekcja łączności i informatyki, sekcja omówienia, sekcja wsparcia);
- **Zespół Operacyjno – Podgrywający** (Kierownik Zespołu, Zca ds. Operacyjnych, Zca ds. Taktycznych Zespół podgrywający szczebel nadrzędny, Zespół podgrywający przeciwnika, Zespół LWL, **Zespoły podgrywające elementy podległe ćwiczącym ZT**);
- **Zespół Zabezpieczenia Ćwiczenia**;
- **Zespół Sprawozdawczo – Badawczy** (omówienia)
- **Ćwiczące dowództwa i sztaby ZT** (Zespół Rozjemców, Dowództwo ZT, **Stanowisko Dowodzenia**).

Klasyczną strukturą funkcjonalną **stanowiska dowodzenia** ćwiczącego związku taktycznego jest wyodrębnienie następujących **centr**<sup>5</sup>:

- **Centrum dowodzenia (Zespół Planowania, Zespół Dowodzenia, Zespół Rozpoznania)** - realizuje funkcje planistyczne w zakresie prowadzonych działań, koordynuje działanie pozostałych elementów SD, określa potrzeby informacyjne potrzebne do podjęcia decyzji przez dowódcę;
- **Centrum Wsparcia Dowodzenia** (Zespół Łączności i informatyki, Zespół Informacyjny) - realizuje funkcje wsparcia procesu dowodzenia poprzez organizację i bezpieczeństwo przepływu informacji, tak wewnątrz SD, jak i na zewnątrz;
- **Centrum Wsparcia Działań** (Zespół Wsparcia ogniowego, Zespół OPL, Zespół LWL, Zespół Winż, Zespół OPChem) - realizuje funkcje koordynacji wsparcia lotniczego i ogniowego wojsk zmechanizowanych i pancernych, Planuje użycie sił lotnictwa wojsk lądowych i innych specjalistycznych zgrupowań w wymiarze lądowo – powietrznym. Koordynuje działanie innych rodzajów wojsk na rzecz sił głównych;
- **Centrum Zabezpieczenia Działań** (Zespół Logistyki, Zespół Zaopatrzenia, Zespół ds. Technicznych, Zespół ds. Medycznych) - realizuje funkcje planistyczno – koordynacyjne zabezpieczenia logistycznego;

Podstawowym wymaganiem dla systemu komputerowej symulacji pola walki jest możliwość jego zastosowania przez każdego uczestnika (zespół, osoby funkcyjne zespołu, oficerowie zespołu) ćwiczenia w pracy dowódczo - sztabowej.

### 1.3.2. Zadania systemu informatycznego wspomaganie ćwiczeń typu CAX

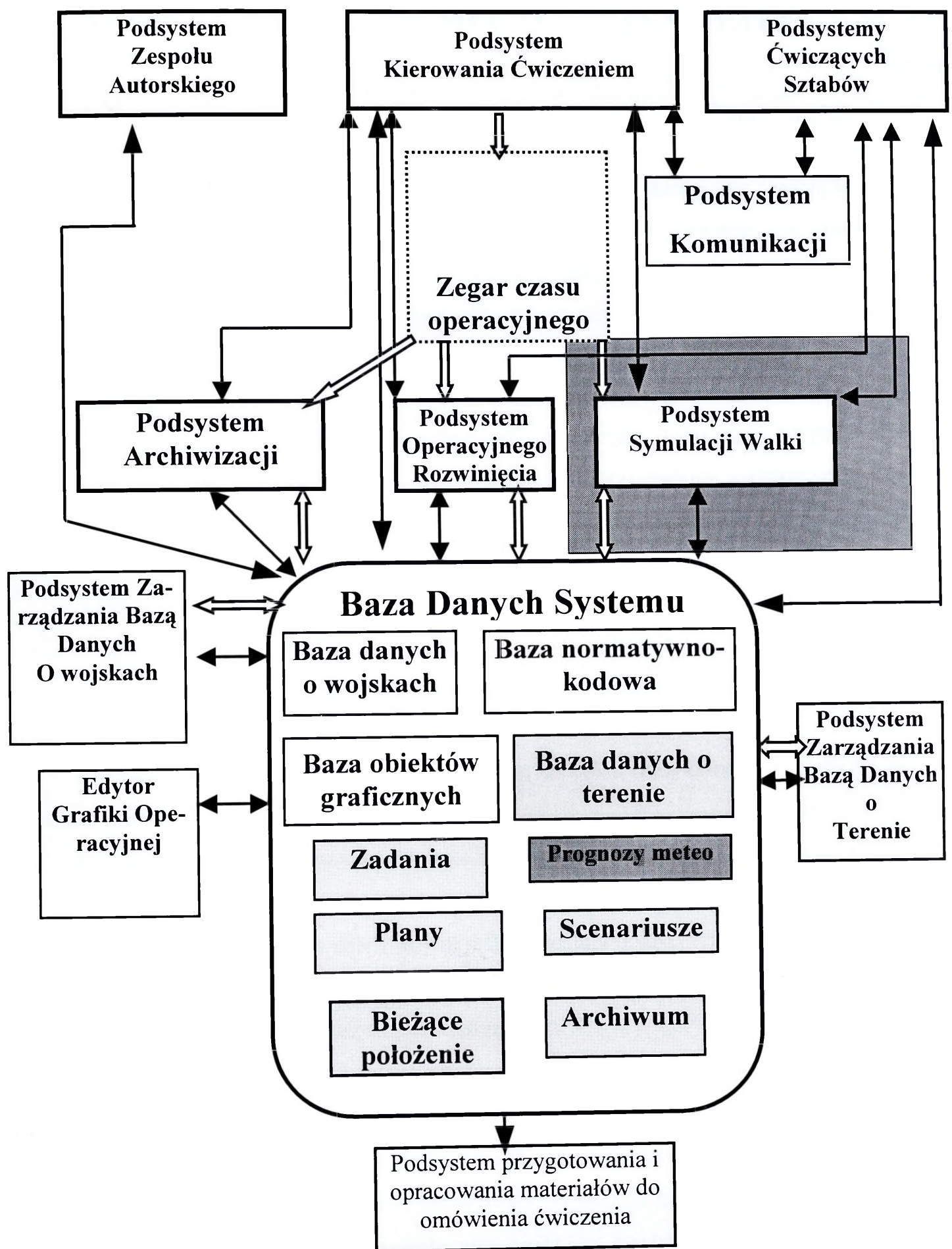
Ze względu na czynności realizowane w scenariuszu ćwiczenia typu CAX oraz wyodrębnione zespoły funkcjonalne uczestników ćwiczenia określić można wymagania na **Systemu Informatycznego Wspomaganie** ćwiczeń dowódczo - sztabowych. Są to zadania jakie konceptualizowany system powinien realizować. Na rys.1 przedstawiona została podstawowa struktura Systemu Informatycznego Wspomaganie ćwiczeń w którym wyróżniono **PODSYSTEM SYMULACJI WALKI** będący jądrem systemu wspomaganie ćwiczeń. Zadania tego podsystemu można wyspecyfikować następująco:

- analiza wzajemnego położenia obiektów w terenie;
- analiza prowadzonych działań przez poszczególne obiekty;
- analiza zdarzeń wynikających z scenariusza;
- generowanie zdarzeń wynikających z dynamiki walki;
- analiza możliwości wzajemnego oddziaływania obiektów dwóch stron:
  - ✓ w ich aktualnym położeniu,
  - ✓ z posiadanymi systemami broni,
  - ✓ z posiadanymi systemami rozpoznania
  - ✓ z posiadanym zapasem amunicji i materiałów pędnych
  - ✓ w określonych warunkach terenowych i atmosferycznych;
- obliczenie strat poszczególnych obiektów w wyniku walk – możliwego oddziaływania przeciwnika;
- obliczenie zmiany położenia obiektów wynikającego:
  - ✓ z ich zadań,
  - ✓ prowadzonych działań,
  - ✓ w wyniku poniesionych strat,
  - ✓ posiadanego zapasu materiałów pędnych;

Z powyższej specyfikacji zadań dla podsystemu symulacji walki wynika, że podsystem ten realizuje wszystkie procesy związane z prowadzeniem walki przez pododdziały, oddziały i związki taktyczne.

---

<sup>5</sup> Metody i treść pracy zespołów funkcjonalnych na SD Wojsk Lądowych, AON 1999



Rys.2. Struktura Systemu Informatycznego Wspomagania ćwiczeń dowódczo-sztabowych

## 2. KONCEPCJA MODELU SYMULACYJNEGO WALKI

### 2.1. Założenia na system i ograniczenia modelu symulacyjnego walki

Konceptualizowany **model symulacji walki** powinien być integralną częścią konceptualizowanego **systemu informatycznego wspomaganie ćwiczeń**. Powinien realizować zadania wsparcia ćwiczeń w każdym etapie realizacji ćwiczenia.

Od modelu symulacji walki oczekuje się poprawnego odwzorowania procesów walki z wymaganym stopniem szczegółowości. Procesy te są raczej złożone i o zmiennej intensywności co implikuje w dużej mierze ich nieprzewidywalność oraz nieokreśloność. Dlatego komputerowy model walki odwzorowywać powinien tylko te procesy, które mają istotny wpływ na przebieg walki (procesy podstawowe, dominujące). Z odwzorowania nieistotnych procesów trzeba zrezygnować (ze względów merytorycznych i/lub braku dostatecznej wiedzy aby opisać je matematycznie).

Jeżeli model symulacji walki będzie zorganizowany w postaci growej, wówczas należy uczestniczącym w grze stronom dać jednakowe szanse wygranej oraz nałożyć podobne ograniczenia. Nie może być takiej sytuacji, że jedna ze stron będzie przez model faworyzowana.

**Konceptualizując model symulacji walki na szczeblu taktycznym przyjęliśmy następujące założenia i ograniczenia:**

- Modelowana walka dotyczy dwóch przeciwstawnych stron,
- Walkę prowadzą wojska lądowe,
- Walka jest możliwa tylko wtedy gdy określone zostały obiekty stron,
- Wojska lądowe podczas prowadzonych działań mogą być wspierane przez lotnictwo (wojsk lądowych, i/lub przez siły powietrzne),
- Walka jest prowadzona w konkretnym terenie (odwzorowanym w modelu numerycznym modelem terenu),
- Na wynik walki mają wpływ aktualne warunki atmosferyczne (zgodne z porą roku).
- Walka prowadzona jest w czasie operacyjnym (symulacja synchronizowana jest zegarem czasu operacyjnego). Czas operacyjny może być zgodny z czasem rzeczywistym, ale może też być przesuniętym wobec niego w przód lub w tył, jak również może być

przyspieszany lub opóźniany. Od czasu operacyjnego uzależniona jest pora doby i pora roku.

- W symulacji procesów walki należy uwzględnić procesy rozpoznania, rażenia, ruchu oraz zużycia środków walki.
  
- **W modelu będą odwzorowywane i realizowane następujące procesy:**
  - ✓ rażenia systemów broni strzelających ogniem na wprost ,
  - ✓ rażenia systemów broni strzelających ogniem pośrednim,
  - ✓ rażenia przez lotnictwo wojsk lądowych,
  - ✓ rażenia przez siły powietrzne,
  - ✓ rażenia przez pola minowe,
  - ✓ rozpoznania obiektów przeciwnika,
  - ✓ ruchu obiektów na polu walki,
  - ✓ zużycia amunicji,
  - ✓ zużycia materiałów pędnych.
  
- **W modelu nie będą odwzorowywane bezpośrednio procesy:**
  - ✓ obrony przeciwlotniczej,
  - ✓ zasilania,
  - ✓ remontów uszkodzonego sprzętu,
  - ✓ uzupełnień kadrowych.
  
- Najniższym szczeblem dowodzenia w systemie (ćwiczącym lub podgrywanym) jest szczebel batalionu i równorzędny, a najmniejszym obiektem, który może być sterowany w modelu jest pododdział wchodzący w skład batalionu. (Jest to istotne wymaganie wobec bazy danych o wojskach przygotowywanej do ćwiczenia. Pododdziały batalionu realizują konkretne zadania, prowadzą bezpośrednie rozpoznanie, prowadzą ogień do rozpoznanych obiektów przeciwnika, ponoszą straty, przemieszczają się na polu walki. Taktyka ich działania, możliwości, normy są istotne do modelowania ich zachowania na polu walki i muszą być opisane w bazie danych.)
  
- Obiektami rażenia przeciwnika będą obiekty podstawowe,
  
- Obliczenia związane z możliwościami systemów broni będą dotyczyły obiektów podstawowych.

- Straty od systemów broni będą się odnosiły do obiektów podstawowych. Wyliczenia dla obiektów nadrzędnych będą odbywały się na zasadzie agregacji strat obiektów podstawowych wchodzących w ich skład.
- Wszystkie obliczenia będą wykonywane krokowo. Długość kroku zostanie ustalona na podstawie testów gotowego systemu i musi być ona kompromisem między dążeniem do obliczeń w czasie ciągłym, a możliwościami i wydajnością systemu komputerowego, a także z dokładnością obliczeń. Symulacja będzie taktowana zegarem czasu operacyjnego.
- Interakcja operatora polegająca na wprowadzaniu zmian decyzji w stosunku do podległych mu obiektów jest możliwa w odstępach czasowych - cyklach, które są wielokrotnością kroku symulacji. Tak więc reakcja modelu na akcję operatora nie jest natychmiastowa. Długość cyklu będzie również ustalona na drodze doświadczalnej i będzie zależała od ilości obiektów biorących udział w ćwiczeniu i wydajności systemu komputerowego. Po zakończeniu każdego cyklu analizowane są akcje operatorów, ich realność i stosownie do sytuacji wprowadzane do scenariusza modelu. Model nie zezwoli na natychmiastowe użycie obiektu w obszarze znajdującym się poza zasięgiem działania jego systemów broni. Musi najpierw się przegrupować do wskazanego przez operatora miejsca i po wykonaniu marszu i rozwinięciu się wejść do walki.
- Obiekty realizujące działania bojowe bez bezpośredniej styczności z przeciwnikiem mogą ponosić straty w wyniku:
  - ✓ uderzeń lotnictwa wojsk lądowych ale muszą być spełnione następujące warunki:
    - obiekt jest dla nich widoczny w aktualnych warunkach terenowych i atmosferycznych,
    - obiekt znajduje się w zasięgu posiadanych systemów broni na pokładzie,
    - posiadany na pokładzie system broni może skutecznie zniszczyć lub obezwładnić obiekt i posiada amunicję lub rakiety,
    - obiektem jest typem celu, który został w zadaniu dla lotnictwa wojsk lądowych wyznaczony jako jeden z celów ataku,
  - ✓ uderzeń sił powietrznych ale muszą być spełnione następujące warunki:
    - obiekt jest dla nich widoczny w aktualnych warunkach terenowych i atmosferycznych,
    - obiekt znajduje się w zasięgu posiadanych systemów broni na pokładzie,

- posiadany na pokładzie system broni może skutecznie zniszczyć lub obezwładnić obiekt i posiada amunicję, rakiety lub bomby,
- obiektem jest typem celu, który został w zadaniu dla sił powietrznych wyznaczony jako jeden z celów ataku,
- ✓ ognia pododdziałów artylerii i rakiet pod warunkiem, że:
  - obiekt znajduje się w ich zasięgu,
  - obiekt został wcześniej rozpoznany,
  - pododdziały rakiet znajdują się w odpowiednim stopniu gotowości,
- ✓ pól minowych,
- ✓ zjawisk przyrodniczych takich jak huragany, powodzie, lawiny itp.
- Ponoszone straty przez obiekty dzielą się na:
  - ✓ straty bezpowrotne (zniszczony pojazd, zniszczony system broni, zabity żołnierz),
  - ✓ straty do odzyskania (uszkodzenie pojazdu, uszkodzenie systemu bron, ranny żołnierz).
- Obiekty realizujące działania bojowe bez bezpośredniej styczności z przeciwnikiem wykonują ruch (jeśli wynika to z ich zadania) w tempie wynikającym z norm, ich możliwości, warunków terenowych, warunków atmosferycznych;
- Model może (opcjonalnie) uwzględniać wpływ na walkę czynników ludzkich takich jak:
  - ✓ wyszkolenie pododdziałów i oddziałów;
  - ✓ doświadczenie;
  - ✓ motywacja i morale wojsk;
  - ✓ zmęczenie i wyczerpanie związane z czasem nieustannego prowadzenia działań.

**W modelu nie będą odwzorowywane takie ważne działania jak:**

- Walka sił powietrznych (samolot kontra samolot).
- Walka środków OPL ze środkami napadu powietrznego.
- Walki z użyciem środków chemicznych.
- Walka WRE.
- Rozpoznanie satelitarne i radiolokacyjne.
- Działania wojsk inżynieryjnych.
- Zaopatrzenia wojsk.
- Remontów i uzupełniania sprzętu i uzbrojenia.

- Usług medycznych
- Uzupełnień kadrowych.
- Przerzucania wojsk transportem powietrznym

Niektóre działania będą odzwierciedlane w modelu tylko częściowo. Dotyczy to zaopatrzenia wojsk i działania wojsk inżynierskich.

## 2.1. Ogólna koncepcja modelu walki na szczeblu taktycznym

Model walki jest podsystemem Podsystemu Symulacji Walki (rys.1), ten z kolei jest podsystemem Informatycznego Systemu Wspomagania Ćwiczeń . Model walki odwzorowuje obiekty (ich stan, strukturę i związki) oraz procesy zachodzące na polu walki. W modelu walki przeprowadza się symulację działań bojowych stron zgodnie z decyzjami operacyjno-taktycznymi stron, uzyskując wyniki - w postaci strat stron i ruchu obiektów w terenie, czyli otrzymując skutki podjętych decyzji.

Model walki będący podsystemem Podsystemu Symulacji Walki, jest z niego zasilany informacyjnie, sam zaś składa się z modeli, które rozwiązują problemy cząstkowe w zależności od rodzaju symulowanego działania i charakteru obiektu.

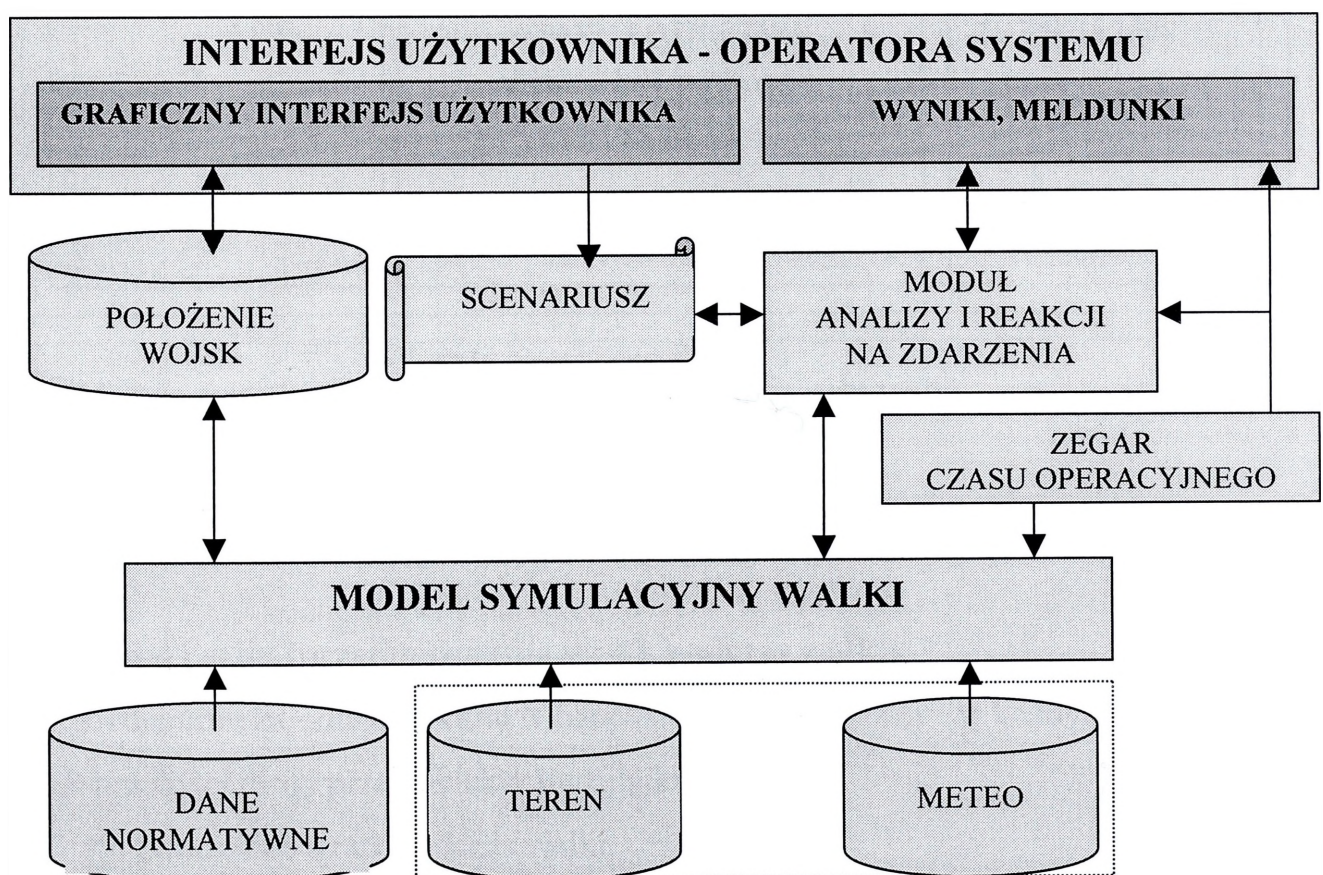
Opis działania modelu walki. Operator – użytkownik systemu wykorzystując graficzny interfejs stawia zadania podległym sztabom (ćwiczącym lub podgrywce) bezpośrednio na mapie. Na podstawie położenia swych wojsk i postawionych zadań ćwiczący planują prowadzenie działań. Ich plany określają zdarzenia czasowo-przestrzenne – kolejne czynności wykonywane przez wojska w celu realizacji zadań, które zapisywane są w scenariuszu. Gdyby nie było przeciwnika to symulacja polegałaby tylko na realizowaniu przygotowanego scenariusza. W rzeczywistości w dynamice działań model walki realizując zdarzenia ze scenariuszy obu stron napotyka na problemy nieprzewidziane w scenariuszu. Sytuacje te są analizowane przez **Analizator Zdarzeń**, który na podstawie analizy możliwych zachowań się obiektów generuje nowe zdarzenia, które są zapisywane w scenariuszu oraz generuje odpowiedni komunikat (meldunek) do właściwego operatora. Jeśli na podstawie danych z **Bazy Normatywnej** Analizator Zdarzeń nie potrafi określić zachowania obiektów wówczas zwraca się z odpowiednim komunikatem do kierownictwa, które podejmuje właściwą decyzję. Podstawą obliczeniową modelu walki jest zawsze aktualne położenie obiektów, które jest analizowane ze względu na teren, aktualne warunki meteorologiczne i czas. Następnie analizowane jest:

- Aktualnie wykonywana czynność obiektu.
- Stan obiektu wynikający z:
  - ✓ aktualnego ukończenia ludzi i sprzętu,
  - ✓ zdolności do dalszego wykonywania czynności czyli:
    - posiadane zapasy amunicji i uzbrojenia,
    - czas nieustannego prowadzenia walki, a więc wyczerpanie wojsk,
    - poniesione straty,
    - odnoszone sukcesy lub ponoszone klęski.

Po takiej analizie model walki może przystąpić do symulacji zachowania się obiektu na polu walki i zdolności obiektu do realizacji kolejnych zadań wynikających ze scenariusza. Przewiduje się wprowadzenie przez kierownictwo ćwiczenia odpowiednich progów dotyczących:

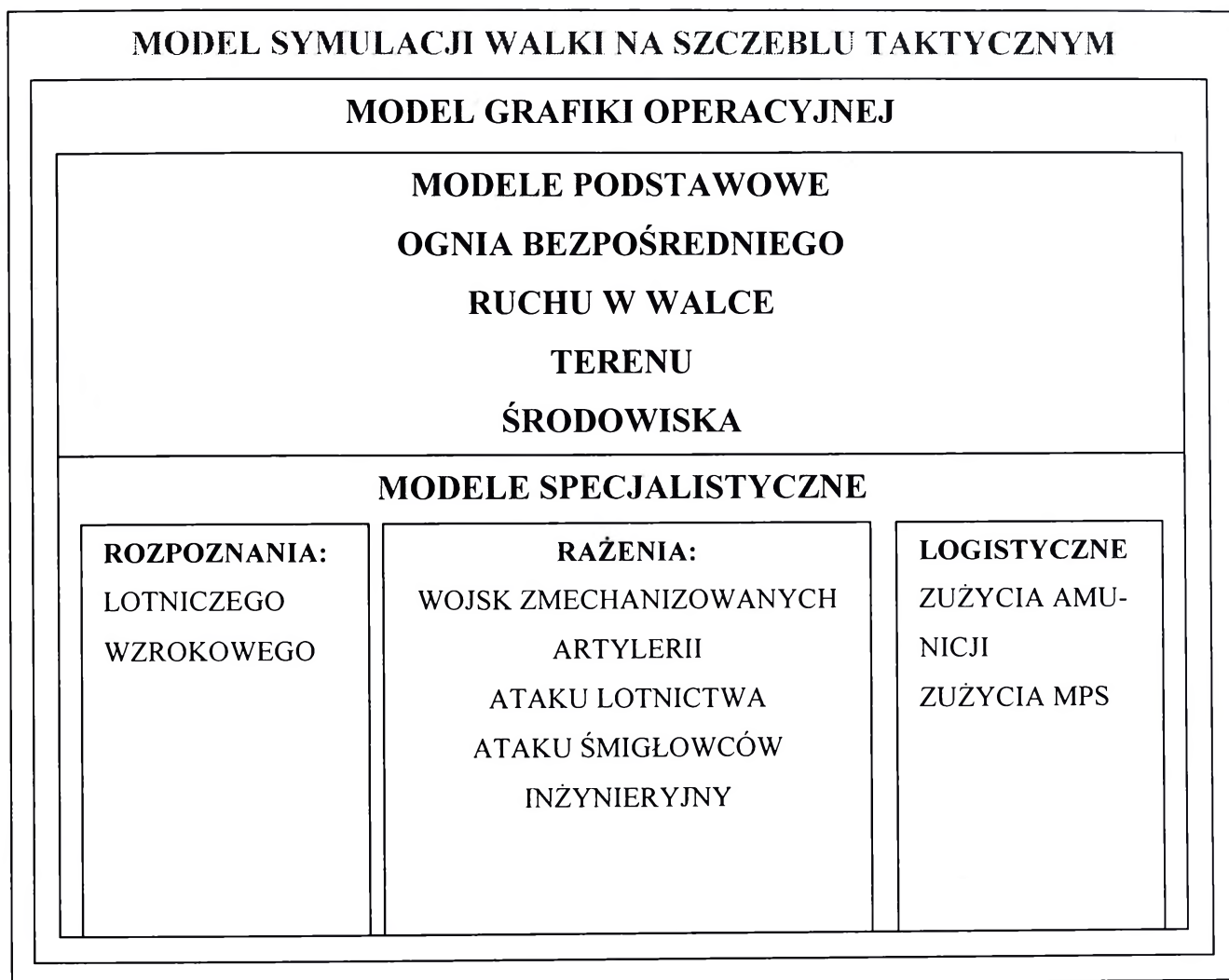
- Poniesionych strat w ludziach i systemach broni.
- Niezbędnych zapasów amunicji.
- Niezbędnych zapasów mps.

Po przekroczeniu tych progów system automatycznie eliminuje obiekt z walki jako niezdolny do prowadzenia dalszych działań.



Rys.3. Struktura podsystemu walki

Podstawą **Modelu Symulacji Walki** są **modele podstawowe** (rys.2.). Modele te posiadają naturę fizyczną i symulują rzeczywiste działania obiektów. Opracowane zostały w postaci modeli matematycznych. W zależności od potrzeb używają również modeli specjalizowanych. Ich implementacja w zaawansowanym technologicznie środowisku programistycznym powinna zapewnić uzyskanie wiarygodnych wirtualnych sytuacji taktycznych, zbliżonych do sytuacji taktycznych rzeczywistego pola walki.



Rys. 4. Modele symulacyjne procesów zachodzących na polu walki

**Wyróżnia się następujące modele podstawowe:**

• **Model ruchu (przemieszczenia wojsk podczas walki)**

Model oblicza - dla obiektów w bezpośredniej styczności - w każdym kroku symulacji przyrost przebytej drogi przez obiekty uwzględniając:

- ✓ ponoszone straty podczas walki,
- ✓ warunki terenowe,
- ✓ warunki atmosferyczne,

- ✓ porę doby,
- ✓ możliwości techniczne wozów bojowych i innych pojazdów.

Model zatrzymuje ruch obiektów gdy zabraknie im mps. Ruch jest możliwy do przodu i do tyłu. Do przodu poruszają się obiekty prowadzące działania ofensywne. Do tyłu poruszają się obiekty, które wskutek przewagi przeciwnika, intensywności ognia i ponoszonych strat, niezależnie czy prowadzą działania ofensywne czy defensywne, zmuszone są do wycofania się z pola walki. Zatrzymanie się obiektów następuje w wyniku napotkania przeszkody, której obiekt nie jest w stanie samodzielnie pokonać (przeszkoda wodna, pole minowe) lub przejścia z działań ofensywnych do obrony. Ruch obiektów może się odbywać po drogach ale w trakcie walki na ogół na przełaj. Kierunek ruchu obiektów determinuje otrzymane zadanie i cel.

#### • Model ognia bezpośredniego

Jest modelem matematycznym, który pozwala obliczyć zadawane i ponoszone straty w bezpośredniej walce różnych systemów broni opartych na ogniu bezpośrednim. Wzajemne oddziaływanie (uderzenia i straty) generowane są przy pomocy probabilistycznego modelu (zmodyfikowany układ równań Lanchestera). Od jakości tego modelu zależy jakość całego systemu. Model ten uwzględnia:

- ✓ prawdopodobieństwo trafienia, które uzależnione jest od:
  - systemu broni,
  - odległości,
  - warunków terenowych,
  - warunków pogodowych,
  - rodzaju celu i jego zachowania,
  - jakość wykrycia i rozpoznania celu,
- ✓ intensywność ognia,
- ✓ zużycie amunicji.

Dla każdego typu systemu broni wyspecyfikowana jest intensywność ognia oraz zużycie amunicji. Obiekty automatycznie otwierają ogień do znajdujących się w ich zasięgu, widocznych i rozpoznanych celów. Intensywność ognia i zużycie amunicji są określane przez operatora oraz zależy od posiadanego zapasu amunicji. Zmniejszenie się stanu amunicji poniżej 50% automatycznie powoduje zmniejszenie intensywności ognia i zużycia amunicji. Walka jest prowadzona przez poszczególne typy systemów broni obiektów podstawowych między sobą.

- **Model terenu**

Model opiera się na:

- √ **mapie wektorowej** terenu, dzięki któremu można określać pokrycie terenu, przeszkody terenowe, rodzaje dróg, mosty i wiadukty - ich długość i nośność, tunele, rzeki, jeziora, lasy, obszary zurbanizowane, obszary przemysłowe, rodzaje gruntów itp.
- √ **numerycznym modelem terenu**, który z kolei pozwala na określenie widoczności optycznej i radiowej, kąty spadków i wzniesień itp.

Mapy wektorowe i numeryczny model terenu znajdują się w bazie danych systemu i są zarządzane systemem GIS (zobrazowania informacji geograficzno - przestrzennej). Dzięki zastosowaniu narzędzi GIS możliwe jest korzystanie z obu rodzajów map, sięganie do atrybutów obiektów terenowych, dokonywanie analiz i dzięki temu uwzględnianie warunków terenowych we wszystkich obliczeniach.

- **Model środowiska**

Model środowiska opiera się na:

- √ **generatorze warunków meteorologicznych** na podstawie przygotowanej do ćwiczenia prognozie pogody,
- √ **zegarze czasu operacyjnego**, na podstawie którego znana jest pora roku, pora doby, czas wschodu i zachodu słońca.

- **Model taktycznych zasad walki**

Model opisuje zasady i reguły taktyki, działania i zachowania się obiektów podstawowych. Dotyczy to działania pododdziałów zmechanizowanych i pancernych. Pozwalają one automatyzować ich działanie. Reguły te są zapisywane w tablicach bazy danych. Zawierają one zgodne z zasadami taktyki możliwe reakcje każdego obiektu podstawowego na różne sytuacje na polu walki. Oznacza to, że określają możliwe reakcje tych obiektów na zdarzenia. Opisują możliwe ścieżki przechodzenia obiektu z jednego stanu do drugiego w określonych warunkach pola walki. Z kolei wszystkie normy obiektów, z których korzysta podczas symulacji model walki są zapisane w bazie normatywno-kodowej. Oczywiście zasady działania

pododdziałów przeciwnika powinny być zgodne z zasadami taktyki domniemanego przeciwnika.

Oprócz wyżej wymienionych modeli podstawowych wprowadza się **modele specjalistyczne**, których zadaniem jest odwzorowanie zachowania różnych obiektów wyposażonych w specjalizowane systemy broni. Ich celem jest symulacja unikalnej natury tych obiektów. Modele te dziedziczą i rozszerzają naturę modeli podstawowych.

#### **Wyróżnia się następujące modele specjalistyczne:**

- ✓ model rozpoznania;
- ✓ model wojsk zmechanizowanych i pancernych;
- ✓ model artylerii;
- ✓ model uderzeń lotnictwa - samolotów;
- ✓ model uderzeń lotnictwa wojsk lądowych – śmigłowców;
- ✓ model logistyki (zużycia amunicji i mps);
- ✓ model inżynierski (stawiania pól minowych).

Każdy z modeli specjalistycznych spełnia określone funkcje w procesie symulacji działań i ma wpływ na zachowanie się obiektów i relacje między obiektami.

#### • **Model rozpoznania**

Model rozpoznania spełnia dwie zasadnicze funkcje:

- ✓ rozpoznanie i wykrywanie celów dla walczących obiektów. Jest rozpoznaniem prowadzonym przez obiekty i jest głównie oparta na rozpoznaniu wzrokowym i służy dla modelu ognia bezpośredniego. Prawdopodobieństwo wykrycia obiektów przeciwnika zależy od:
  - odległości,
  - warunków terenowych,
  - pogody,
  - pory doby,
  - posiadanych na wyposażeniu obiektu przyrządów.
- ✓ rozpoznanie i wykrywanie obiektów przeciwnika i informowanie o wynikach operatora, który na ich podstawie planuje i organizuje działanie podległych wojsk. Prowadzenie tego typu rozpoznania uzależnione jest od operatora, od posiadanych obiektów rozpoznawczych oraz przydzielonego mu limitu rozpoznania lotniczego.

Zwykle dotyczy to rozpoznania prowadzonego przez bezpilotowe jak również pilotowe środki rozpoznania lotniczego. Rozpoznanie to jak również informacje od kierownictwa ćwiczenia są dla operatora ćwiczącego sztabu wskazówką co do zamiarów przeciwnika.

Wyróżnia się następujące poziomy wykrywania(rozpoznania):

- ✓ wykrycie - znany jest rodzaj działania, ale nie jest znana siła;
- ✓ rozpoznanie - znany jest typ jednostki (czołgi, piechota), rodzaj działania oraz liczba pojazdów;
- ✓ identyfikacja - oprócz powyższych danych, znany jest także typ pojazdów( T-72, M-113, itp.)

- **Model wojsk zmechanizowanych i pancernych**

W modelu wojsk zmechanizowanych i pancernych rozróżnia się działanie:

- ✓ Działanie na pojazdach, gdy żołnierze znajdują się w wozach bojowych i są chronieni przed ogniem broni strzeleckiej przeciwnika. Aktywny jest wtedy system broni pokładowej, którym razi się przeciwnika. Zniszczenie lub poważne uszkodzenie pojazdu pociąga za sobą również wyższe straty w sile żywej.
- ✓ Model piechoty jest stosowany do symulacji działań bojowych, w których żołnierze nie poruszają się w wozach bojowych. Mogą prowadzić ogień z broni strzeleckiej do przeciwnika i są narażeni na podobne oddziaływanie ze strony przeciwnika. Wozy bojowe i czołgi jeśli towarzyszą piechocie, wspierają swymi systemami broni piechotę. Jednak tempo działania musi być dostosowane do możliwości spieszzonego żołnierza. W obronie żołnierze zwykle znajdują poza pojazdami w zależności od rodzaju obrony odpowiednio ukryci.

Tempo natarcia na wozach bojowych jest wyższe niż w przypadku natarcia wojsk spieszonych.

- **Model artylerii**

Model artylerii odwzorowuje kierowanie przez operatora jednostkami artylerii i moździerzy. Różnica między modelem ognia bezpośredniego, a modelem artylerii polega na tym, że w modelu artylerii, że pododdziały artylerii nie prowadzą ognia

automatycznie, lecz decyzja o tym jest podejmowana przez operatora i także on wskazuje cele (obiekty przeciwnika) dla artylerii. Model sprawdza odległość między stanowiskami artylerii, a celem i informuje operatora o odległości przekraczającej zasięg posiadanych systemów broni. Operator decyduje o intensywności ognia i rodzaju amunicji. Jeśli pododdziały artylerii nie znajdują się na stanowiskach ogniowych to ogień może być prowadzony dopiero po czasie niezbędnym na zajęcie przez pododdziały artylerii stanowisk ogniowych. Efekt strzelania jest rozpraszany wokół punktu, który jest celem. Model uwzględnia w swoich obliczeniach warunki terenowe, atmosferyczne, rodzaj amunicji oraz parametry systemu broni.

- **Model uderzeń lotnictwa - samolotów**

Model ataku lotnictwa symuluje oddziaływanie lotnictwa na jednostki i obiekty terenowe. Umożliwia trening dowódców w koordynacji wspomaganie powietrzne. Atak sił powietrznych może być prowadzony w różny sposób:

- Pierwszy polega na wskazaniu celu lub wielu celów ataku. Cele te są wcześniej rozpoznane i jest to konkretne zadanie dla lotnictwa.
- Drugi polega na wyznaczeniu tras lub stref, które lotnictwo ma patrolować i niszczyć wykryte cele. W tym przypadku lotnictwo prowadzi jednocześnie rozpoznanie i niszczenie. Kolejność niszczenia celów jest określona na liście priorytetów.

Straty obiektów ataku zależą od rodzaju systemu broni, w który są wyposażone atakujące samoloty, rodzaju obiektu i jego możliwości w zakresie OPL, a także warunków terenowych i atmosferycznych. Warunki atmosferyczne mogą uniemożliwić wykonanie zadania. Istnieje również prawdopodobieństwo wykonania ataku na obiekty własne znajdujące się w strefie lub blisko celu ataku.

- **Model oddziaływania lotnictwa wojsk lądowych (śmigłowców)**

Model ten jest przeznaczony do symulacji oddziaływania śmigłowców na polu walki, treningu dowódców w stosowaniu broni przeciwpancernej (w obronie i natarciu). W modelu jest możliwa symulacja ataku, wykrycia celów, otwarcia ognia bezpośredniego przeciwko wykrytym obiektom na ziemi. Operator wyznacza rubież i czas ataku. Model współdziała z modelem terenu, który określa wysokość, z której widoczne są obiekty przeciwnika. Skuteczność ataku zależy od odległości, warunków terenowych, atmosferycznych oraz użytych systemów broni, a także rodzaju obiektu ataku i

jego odporności, możliwości stosowania zakłóceń, ukrycia. Strefa ognia specyfikuje koło wewnątrz którego znajdują się cele, które są niszczone według określonego priorytetu. Kolejność oraz priorytet jest częścią procesu kierowania ogniem gdy cele nie są specyfikowane.

- **Model logistyki**

Model logistyki ogranicza się jedynie do:

- modelu zużycia materiałów pędnych (mps). Obliczenia w modelu opierają się na normach zużycia tych materiałów przez obiekty podstawowe podczas różnych form działania i ich intensywności. Obliczenia mają charakter pewnego przybliżenia do rzeczywistego zużycia. Niemniej pozwala to zwrócić uwagę na istotny czynnik powodzenia w walce. Brak materiałów pędnych zatrzymuje obiekty w miejscu i ogranicza skuteczność prowadzenia ognia z jednej strony, a wystawia na łatwiejsze zniszczenie przez przeciwnika. Stan mps podległych obiektów operator może odczytać w każdej chwili.
- modelu zużycia amunicji. Obliczenia w modelu ograniczają się do rejestrowania zużycia amunicji podczas walki. Zużycie zależy od intensywności prowadzonego ognia, którą z kolei zarządza operator. Gdy zapas amunicji maleje poniżej 50% model sam zmniejsza intensywność ognia.
- Model uzupełniania mps i amunicji nie odzwierciedla całego procesu zaopatrzenia i uzupełniania. Jest on jedynie pewną imitacją tego procesu. Pozwala on operatorom na zamawianie mps i amunicji u przełożonego do najwyższego szczebla ćwiczenia włącznie, który zamówienie składa w kierownictwie ćwiczenia. Zmusza to ćwiczące sztaby do częściowego realizowania procesu zaopatrzenia. Kierownictwo ćwiczenia po określonym czasie przydziela amunicję i mps po kolei wszystkim ćwiczącym obiektom bezpośrednio uzupełniając w bazie danych stan amunicji i mps. Nie dzieje się to automatycznie. Musi bowiem minąć stosowny czas od złożenia zamówienia do chwili otrzymania go przez walczące obiekty. Proces uzupełniania może być losowo zakłócany w zależności od aktualnej sytuacji na polu walki, podejmowanych działań przez stronę przeciwną, jego aktywności szczególnie lotnictwa na tyłach. Spóźnione zamówienie amunicji lub mps może spowodować, że uzupełnienie będzie spóźnione i obiekty utracą zdolność bojową. Tak więc model nie rozwiązuje w pełni problemu jednak pozwala na wyostrenie uwagi ćwiczących na problem zaopatrzenia.

- **Model inżynierski**

W modelu inżynierskim odwzorowywane są jedynie procesy:

- √ stawiania pól minowych przez obiekty podstawowe. Model uwzględnia możliwości (wydajność) tych obiektów w tym zakresie. Czas stawiania pola minowego zależy od jego wielkości, rodzaju min oraz sposobu ich stawiania.
- √ rozminowywania pól minowych. Podobnie jak minowaniu model uwzględnia możliwości pododdziału inżynierskiego na wykonanie przejść w polu minowym. Czas rozminowania zależy od rodzaju min, wielkości pola minowego oraz od sposobu rozminowania,

Przedstawione **modele podstawowe i specjalistyczne** stanowią jądro podsystemu symulacji walki. Uszczegółowienie koncepcji rozwiązania i algorytmizacja każdego z modeli oraz ich implementacja powinna następować w kolejnych etapach prac.

### 3. TEORIA MATEMATYCZNYCH MODELI WALKI

W procesie modelowania przedmiotów jednym z ważniejszych etapów jest sformułowanie modelu matematycznego. Modelem matematycznym z formalnego punktu widzenia nazywamy funkcję wzajemnie jednoznaczłą (1 – 1) przekształcającą

$$f : \tilde{A} \xrightarrow{1-1} \overset{\circ}{X} \cup \overset{\circ}{R}$$

gdzie:

$\tilde{A}$  oznacza zbiór nazw wybranych cech obiektów i nazw związków;

$\overset{\circ}{X}$  oznacza zbiór wszystkich możliwych wartości jakie przyjmować mogą ustalone zmienne modelu;

$\overset{\circ}{R}$  oznacza zbiór wszystkich wartości relacji określonych na ustalonych zmiennych modelu.

Tak więc matematyczny model możemy uważać za skonstruowany jeżeli:

- odzwierciedla wszystkie wybrane cechy i wybrane związki między nimi zachodzące;
- ustalone jest jednoznacznie, jaką interpretację merytoryczną mają wszystkie zmienne wolne występujące w modelu (pierwotne zmienne opisujące ustalone cechy przedmiotu modelowanego i pierwotne relacje określone między nimi).

Formalna postać modelu matematycznego jest użyteczna przy analizie adekwatności modelu do oryginału – z punktu widzenia rozpatrywanego problemu. Jednak zawsze wtedy, kiedy model spełnia warunki:

- istotności wybranych cech oryginału;
- istotności wybranych związków pomiędzy cechami oryginału;
- spójności modelu (model powinien łączyć wszystkie powołane do bytu zmienne);
- niesprzeczności modelu.

### 3.1. Model analityczny

Poniżej przedstawiamy autorską konceptualizację matematycznego modelu walki w podejściu analitycznym. Podejście analityczne oznacza w tym przypadku przyjęcie następujących założeń:

- modelowany oryginał traktujemy jako zbiór środków walki;
- walkę rozpatrujemy jako wzajemne oddziaływanie środków walki jednej strony na środki walki drugiej strony;
- skutek oddziaływania środków walki na siebie jest sumą algebraiczną oddziaływania poszczególnych środków;
- środki walki strony skumulowane są w jednym punkcie przestrzeni.
- rozpoznanie środków walki przeciwnika jest pełne;
- oddziaływanie określonych środków walki na środki walki przeciwnika jest skuteczne zgodnie z normami taktycznymi, ale „ślepe” z punktu widzenia sensu oddziaływania.

#### Założenia modelu:

1. Rozpatrywane są dwie strony w walce: A, B;
2. W walce oddziaływać rażąco może J typów środków walki każdej ze stron.
3. Każdy  $j$  – ty typ ( $j = 1, \dots, J$ ) środka walki jest opisany wskaźnikami:
  - $JWJ$  - określającym jego potencjał bojowy<sup>6</sup>;
  - $r$  – czasów regeneracji niezbędnego do przygotowania się do oddania następnej salwy ogniowej;
  - $a$  – maksymalnej liczby salw jakie środek walki może wykonać bez zasilania zewnętrznego;
  - $z$  – skuteczny zasięg ognia środka walki.

---

<sup>6</sup> Prezentowana koncepcja modelu oparta została o pojęcie potencjału. Bardziej elementarny model można przedstawić na zbiorze środków walki. W formułach prezentowanych dalej ten fakt zostanie uwidoczniiony.

4. Określona jest macierz dopuszczalnych oddziaływań środków walki na siebie:

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1J} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{J1} & d_{J2} & \cdots & d_{JJ} \end{bmatrix}$$

5. Każda ze stron posiada określoną liczbę  $j$  – tego środka walki:

- strona A –  $IL_j^A$ ;
- strona B –  $IL_j^B$ ;

6. Określona jest macierz prawdopodobieństw (norm taktycznych) zniszczenia jednego typu środka walki przez drugi środek walki jedną salwą, postaci:

$$p = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1J} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{J1} & p_{J2} & \cdots & p_{JJ} \end{bmatrix}$$

#### Koncepcja analitycznego modelu matematycznego:

1. Potencjał bojowy strony w chwili początkowej  $t_0$  określamy według formuły:

$$P^X(t_0) = \sum_{j=1}^{J^X} IL_j^A(t_0) \cdot JWJ_j^X$$

gdzie  $X = \{A, B\}$

2. Potencjał bojowy strony w następnej chwili czasu  $t_1$  określamy według formuły:

$$P^X(t_1) = \sum_{j=1}^{J^X} (IL_j^X(t_0) - IL_j^X(t_1)) \cdot JWJ_j^X$$

W każdej następnej  $n$  – tej chwili czasu formuła obliczeniowa jest identyczna. Jej postać ogólna jest następująca:

$$P^x(t_n) = \sum_{j=1}^{J^x} (IL_j^x(t_{n-1}) - IL_n^x(t_1)) \cdot JWJ_j^x$$

3. Z formuły przedstawionej powyżej wynika, że istotą modelu jest problem określania strat środków walki w okresie czasu  $\Delta t = t_1 - t_0$  ( $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ ). Proponujemy, aby straty obliczać według formuły (przy założeniu, że nie uwzględniamy procesów dostaw amunicji oraz procesów dostaw i naprawy środków walki):

$$IL_j^A(t_n) = \sum_{j=1}^{J^B} p_{j^A j^B} \cdot IL_j^B(t_{n-1}) \cdot \frac{\Delta t}{r_{j^B}} \cdot \delta_{j^B} \cdot d(z)$$

gdzie:

$$\delta_{j^B} = \begin{cases} 1 & \text{dla } a_{j^B} \neq 0 \\ 0 & \text{dla } a_{j^B} = 0 \end{cases}$$

i uwzględnia możliwości ogniowe środka walki (posiadanie amunicji do rażenia)

$$d(z) = \begin{cases} 0 & \text{dla } d > 0 \\ -\frac{2}{z} \cdot d + 2 & \text{dla } \frac{z}{2} \leq d \leq z \\ \frac{2}{z} \cdot d & \text{dla } 0 \leq d \leq \frac{z}{2} \end{cases}$$

Wprowadzona zmienna  $d(z)$  określa (jeżeli znane są współrzędne  $(x_j, y_j)$  dyslokacji środków walki, a odległość pomiędzy środkami walki traktujemy jako odległość Euklidesa na płaszczyźnie płaskiej) efektywność rażenia środka walki w funkcji jego teoretycznego zasięgu i faktycznej odległości. Maksymalną efektywność ( $=1$ ) określono w tym przypadku dla odle-

głości będącej połową teoretycznego zasięgu. (jeżeli chcemy najbardziej efektywną odległość określić inaczej, wówczas we wzorach stała 2 musi ulec zmianie). Odległość efektywna jest aproksymowana rozkładem trójkątnym.

Iloraz  $\frac{\Delta t}{r_{j^B}^A}$  określa liczbę salw rażących jednego środka walki na drugi w badanym

okresie czasu  $\Delta t$ . (problem „częściowych” salw można rozpatrywać w bardziej szczegółowym modelu)

Prawdopodobieństwo  $P_{j^A j^B}$  zniszczenia  $j^B$  – tego środka walki przez  $j^A$  – ten środek walki uwzględnia macierz dopuszczalnych oddziaływań ( $d_{jj}$ ), aby niepotrzebnie nie inicjalizować procesów obliczeniowych.

### 3. Koncepcja syntezy modelu matematycznego

Dla każdej strony obliczamy stan potencjału strony w czasie  $t_n$  według (2.2) [będący sumą algebraiczną potencjału wszystkich środków walki strony], natomiast straty ilościowe każdego środka walki w okresie czasu  $\Delta t$  obliczamy według (2.3). We wzorach (2.3) można uwzględnić inne zmienne będące zagregowanymi wielkościami innych zmiennych cząstkowych, które w modelu chcemy uwzględnić (lub uzewnętrzniać, jeżeli uczynimy je decyzyjnymi).

Złożenie powyższych obliczeń dla  $n = 1, \dots, N$  oraz dla każdej ze stron określi stan potencjału (w tym dokładnie każdego  $j$  – tego typu środka walki) strony w  $n$ -tej chwili czasu walki zbrojnej.

Z powyżej przedstawionej (dość prostej logicznie, ale złożonej implementacyjnie i bardzo uciążliwej dla użytkownika) koncepcji analitycznego modelu walki dwóch antagonicznych stron wynikają (przynajmniej) dwa zasadnicze spostrzeżenia:

- dużego redukcjonizmu modelu w stosunku do oryginału<sup>7</sup> – rzeczywistych procesów walki (choć procesy zabezpieczenia (logistycznego i bojowego) można /i uwzględnić

---

<sup>7</sup> Należy jednak pamiętać, że nie ma uniwersalnych modeli. Opracowany (jakikolwiek) model nie odwzorowuje wszystkiego o oryginale, nie wypełnia wszystkich celów i wszystkich pod-

się/ wprowadzając stosowne równania bilansowe oraz procesy wsparcia bojowego – przez inicjalizację innych modeli rażenia(oddziaływania));

- dużych wymagań stawianych użytkownikowi, a polegających na specyfikacji wszystkich zmiennych modelu. W szczególności w przypadku uwzględnienia licznych poziomów dowodzenia. Automatyzm działania podległych jednostek – chociaż realizowany – nie spełnia oczekiwań.

Niemniej analityczne podejście do modelowania walki zbrojnej, które zapewne pobudziło Lanchestera do uogólnień i w efekcie do ujęcia tego problemu w postaci Modelu Lanchestera, jest stosowane obecnie prawie przez wszystkie zespoły analityczno – projektowe symulacyjnych modeli walki. Różnorodność ujęcia (a faktycznie uwzględnienia w modelu coraz innych (istotniejszych) zmiennych) procesów walki jest niczym innym jak zmodyfikowanym modelem Lanchestera.

### 3.2. Modele walki Lanchestera

Przedstawiamy znane w literaturze i powszechnie stosowane w symulacyjnych systemach komputerowych modele dynamiki walki, zwane modelami **Lanchestera**<sup>8</sup>.

#### 3.2.1. Klasyczny model walki Lanchestera

Pierwsze prawo Lanchestera (zależność liniowa) odnoszące się do wojen, w których „broń bezpośrednio przeciwstawiała się broni”, a więc ogólnie rzecz biorąc, na szczeblach strategicznych do I wojny światowej. Sens prawa wyrażony jest równaniem:

$$E = \frac{n(t_0) - n(t_k)}{m(t_0) - m(t_k)} = \frac{N - n(t_k)}{M - m(t_k)}$$

---

miotów badawczych. Model oryginału opracowywany jest w ściśle określonym celu, spełnienia określone kryteria (będące wyznacznikiem jego konceptualizacji).

<sup>8</sup> W. F. Lanchester, *Aircraft in Modern Warfare, the Dawn of the Fourth Arm*. Constable and co, London 1916.

Gdzie  $n(t_0) = N$   $m(t_0) = M$  wyrażają ilości środków stron przed rozpoczęciem walki, a  $n(t_k)$   $m(t_k)$  odpowiednie siły po jej zakończeniu.

Pierwsze prawo Lanchestera wynika z następującego opisu dynamiki walki:

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = \frac{1}{1+E} \\ \frac{dm}{dt} = \frac{1}{1+E} \end{cases}$$

Drugie prawo Lanchestera (zależność kwadratowa) odpowiada wojnom do II wojny światowej, gdy należy uwzględnić również możliwości bezpośredniego oddziaływania środków walki:

$$E = \frac{N^2 - n^2(t_k)}{M^2 - m^2(t_k)}$$

Klasyczny model walki Lanchestera rozpowszechniony jest dla najprostszego przypadku walki dwóch grup jednostek elementarnych.

Podstawowymi założeniami ograniczającymi zakres stosowalności modelu są następujące wymagania:

1. Każda jednostka elementarna dowolnej strony, dopóki nie jest rażona, realizuje losowy strumień strzałów z pewną średnią szybkostrzelnością; strumień ten jest strumieniem Poissona.<sup>9</sup>
2. Każda jednostka elementarna dowolnego typu może strzelać do dowolnej jednostki elementarnej przeciwnika. Ogień jest celowany, tzn. skierowany na rażenie w

pełni określonej jednostki elementarnej przeciwnika. Jednym strzałem nie można razić więcej niż jedną jednostkę elementarną przeciwnika.<sup>10</sup>

3. Jeżeli ostrzeliwana jednostka przeciwnika została rażona, ogień natychmiast przenosi się na inną tego samego typu (jeżeli istnieje), a rażona jednostka nie bierze udziału w dalszych działaniach bojowych.<sup>11</sup>
4. Czasu lotu pocisku do celu można nie uwzględniać w porównaniu z ogólnym czasem trwania walki.
5. Sumaryczna moc bojowa każdej grupy jednostek elementarnych w dowolnej chwili  $t$  jest proporcjonalna nie do liczby losowo ocalałych jednostek elementarnych, ale do jej wartości oczekiwanej.<sup>12</sup>

### 3.2.2. Zmodyfikowany model walki Lanchestera

Układ równań różniczkowych Lanchestera określamy następującą formułą

$$\begin{cases} \frac{dm^A(t)}{dt} = -\Lambda^B(t) \cdot m^B(t) \\ \frac{dm^B(t)}{dt} = -\Lambda^A(t) \cdot m^A(t) \end{cases}$$

gdzie  $\Lambda(t)$  oznacza gęstość strumienia strzałów skutecznych określonego środka walki<sup>13</sup>, tzn. niszczących: określone środki walki przeciwnika.

$m(t)$

---

<sup>9</sup> Jeżeli czas ponownego „załadowania” jednostki elementarnej jest stosunkowo mały w porównaniu ze średnim odstępem czasu pomiędzy kolejnymi strzałami.

<sup>10</sup> Wymaga to posiadania pełnej informacji o przeciwniku (w szczególności o jego dyslokacji), aby ogień mógł być celowany. Wyklucza jednocześnie możliwość stosowania takich jednostek elementarnych, które rażą przeciwnika „powierzchniowo”, tzn. takich, których strzał razi wszystkie jednostki elementarne przeciwnika znajdujące się na pewnej powierzchni terenu.

<sup>11</sup> Wymaga to, aby czas przeniesienia ognia jednostki elementarnej był dostatecznie mały.

<sup>12</sup> Im liczniejsze grupy jednostek elementarnych biorą udział w wymianie ogniowej, tym założenie to lepiej odpowiada rzeczywistości.

<sup>13</sup> Aby nie zaciemniać istoty modelu nie rozróżniamy tu poszczególnych grup jednostek elementarnych, ale zachowując założenia modelu klasycznego, rozważamy walkę środka walki z

oznacza liczbę środków walki strony.

$$\Lambda(t) = \lambda(t) * p(t)$$

gdzie:  $\lambda(t)$  oznacza intensywność prowadzenia ognia;

$p(t)$  oznacza prawdopodobieństwo zniszczenia jednym strzałem

Ponieważ w walce uczestniczą niejednorodne środki walki, to aby problem ujednorodnić można przejść na postać agregatową siły (mocy bojowej) strony, tj. do . potencjału strony. Dodatkowo więc oprócz aspektu ilościowego strony uwzględniony zostanie także aspekt jakościowy środków walki strony. Potencjał strony wyrażony jest formułą postaci:

$$P = \sum_{j=1}^N IL_j * JWJ_j$$

gdzie:  $IL_j$  oznacza ilość  $j$  – tego typu środka walki;

$JWJ_j$  Oznacza jednostkowy potencjał rażenia  $j$  – tego typu środka walki;

$j = 1 \dots J$  jest wskaźnikiem bieżącym ilości  $j$  – tego środka walki

Uogólniając powyższe, uzyskujemy zmodyfikowany model Lanchastera postaci:

$$\begin{cases} \frac{dP^A(t)}{dt} = -k^B \cdot \Lambda^B(t) \cdot P^B(t) \\ \frac{dP^B(t)}{dt} = -k^A \cdot \Lambda^A(t) \cdot P^A(t) \end{cases}$$

---

e środkiem walki. Nie uwypuklamy zatem organizacji walczących stron i typologii środków walki.

Gdzie dodatkowo wprowadzone współczynniki  $k^A, k^B$  określać mogą wszelkie dodatkowe zmienne modelu, np. zmienne operacyjne walki, zmienne środowiskowe pola walki, itp. Najczęściej w konkretnych realizacjach takiego modelu ich autorzy konstruują autorskie współczynniki modelu, w których kumulują wartości specyficznych zmiennych powołanych do bytu w procesie konceptualizacji modelu.

### 3.2.3. Optymalizacyjny model walki Lanchestera

Sformułujmy problem optymalizacji procesu walki dla przypadku niejednorodnych środków walki<sup>14</sup>

Niech dany będzie zbiór typów środków walki poszczególnych stron:

$$J^A = \{1, \dots, i, \dots, I^A\}$$

$$J^B = \{1, \dots, j, \dots, J^B\}$$

oraz znane są charakterystyki tych środków

$$M_i, \lambda^A_i, P^A_{ij}(t) \quad \text{oraz} \quad N_j, \lambda^B_j, P^B_{ji}(t)$$

dla  $i \in J^A, j \in J^B$ .

Określa się wielkości, które posłużą jako zmienne decyzyjne:

$X^A_{ij}(t)$  – stosunek liczności tej części grupy środków typu  $i$ , która w chwili  $t$  prowadzi ogień do środków typu  $j$  – do całkowitej liczności grupy środków typu  $i$ ;

$Y^B_{ji}(t)$  – stosunek liczności tej części grupy środków typu  $j$ , która w chwili  $t$  prowadzi ogień do środków typu  $i$  – do całkowitej liczności grupy środków typu  $j$ .

---

<sup>14</sup> A. Chojnacki, Modelowanie matematyczne i algorytmizacja planowania działań bojowych. Rozprawa doktorska, WAT, 1976.

Wielkości te spełniają następujące warunki:

$$0 \leq X_{ij}^A(t), \quad 0 \leq Y_{ji}^B(t)$$

$$\sum_{j=1}^{J^B} X_{ij}^A(t) \leq 1, \quad \sum_{i=1}^{I^A} Y_{ji}^B(t) \leq 1$$

Wtedy równania dynamiki walki mają postać:

$$\begin{cases} \frac{dm_i(t)}{dt} = - \sum_{j=1}^{J^B} \lambda_j^B P_{ji}^B(t) Y_{ji}^B(t) n_j(t) \\ \frac{dn_j(t)}{dt} = - \sum_{i=1}^{I^A} \lambda_i^A P_{ij}^A(t) X_{ij}^A(t) m_i(t) \end{cases}$$

dla warunków początkowych  $m_i(0) = M_i$ ,  $n_j(0) = N_j$ .

Wprowadźmy funkcje oceny efektywności dla stron walczących, posiadające sens różnicy ważonych strat:

Dla strony A:

$$E_A = \sum_{j=1}^{J^B} \omega_j^B (N_j - n_j(t)) - \sum_{i=1}^{I^A} \omega_i^A (M_i - m_i(t))$$

Dla strony B:

$$E_B = \sum_{j=1}^{J^B} \omega_j^A (N_j - n_j(t)) - \sum_{i=1}^{I^A} \omega_i^B (M_i - m_i(t))$$

Ponieważ rozwiązanie problemu  $\langle m(t), n(t) \rangle$  zależy od wyboru  $(x, y) \in X \times Y$ , gdzie:

$$X = \{X_{ij}^A: i \in J^A, j \in J^B\}, \quad Y = \{Y_{ji}^B: j \in J^B, i \in J^A\},$$

więc także  $m(T)$  i  $n(T)$  zależy od  $(x, y)$  przy ustalonym  $T > 0$ , wtedy możemy zapisać, że:

$$\begin{cases} E_A = E_A(x, y) \\ E_B = E_B(x, y) \end{cases}$$

Strona A wybiera taki sposób sterowania ogniem  $x^* \in X$ , aby zmaksymalizować swój efekt  $E_A$  przewidując odpowiednie przeciwdziałanie nieprzyjaciela, tzn.

$$E_A(x^*, y) = \max_{x \in X} E_A(x, \hat{y}) = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} E_A(x, y)$$

Analogicznie zakładamy postępowanie strony B:

$$E_B(x, y^*) = \max_{y \in Y} E_B(\hat{x}, y) = \max_{y \in Y} \min_{x \in X} E_B(x, y)$$

W ten sposób, wychodząc od modelu walki typu Lanchestera, otrzymujemy zagadnienie optymalizacji sterowania ogniem (uderzenia ogniowego). Do rozwiązania tego złożonego problemu stosowana jest zasada maksimum Pontriagina.

Uogólniając dotychczasowe rozważania powiemy, że w procesie modelowania systemu walki dążymy do:

- a) **opisu dynamiki walki** – intensywności wzajemnego oddziaływania ogniowego stron walczących

$$\begin{cases} \frac{dPB^A(t)}{dt} = \varphi_A^B(x, y, t) \\ \frac{dPA^B(t)}{dt} = \varphi_B^A(x, y, t) \end{cases}$$

dla  $PB^A(t_0) = PB_0^A > 0$ ,  $PB^B(t_0) = PB_0^B > 0$ .

W celu obserwacji zmian potencjału bojowego stron walczących w badanym okresie czasu, ze szczególnym uwzględnieniem takiego momentu  $t_g$ , w którym nastąpi spadek potencjału jednej ze stron poniżej pewnej przyjętej wartości granicznej, tj.

$$PB^A(t_g) < PB_g \text{ lub } PB^B(t_g) < PB_g.$$

- b) **określenia funkcji** (funkcjonału) **efektywności walki**, pozwalającej określić wielkość uzyskanych korzyści stron walczących, zależnej od przyjętych zmiennych opisujących proces walki:

$$\begin{cases} E_A = E_A(PB^A(t), PB^B(t), x(t), y(t), t) \\ E_B = E_B(PB^A(t), PB^B(t), x(t), y(t), t) \end{cases}$$

- c) **sformułowanie**, a następnie **rozwiązanie problemu optymalizacji decyzji walczących stron**, tj. określenia takich decyzji do walki, które zapewniają maksymalne efekty danej stronie walczącej:

$$x^* : E_A(x^*) \geq E_A(x) \quad \text{dla } x \in X$$

lub

$$y^* : E_B(y^*) \geq E_B(y) \quad \text{dla } y \in Y$$

Rozważane modele były typu deterministycznego. Dla modeli tych istnieją odpowiednie modele probabilistyczne, z reguły bardziej skomplikowane. Stanowią one zapewne lepsze przybliżenie rzeczywistej walki, niż w przypadku założeń o determinizmie. Jednakże w obu przypadkach mamy do czynienia ze znacznym poziomem ogólności i znacznym idealizowaniem rzeczywistego współczesnego pola walki. Nie przesądza to bynajmniej o użyteczności tych modeli w procesie systemowego modelowania procesów walki. Komputerowa realizacja tych modeli pozwala na analizę wpływu poszczególnych czynników na przebieg walki, prognozowanie stosunku sił i dynamiki zmian potencjału bojowego, itp. Korzyści płynące z tego typu badań mogą być zatem znaczne, oczywiście w warunkach pełnej świadomości przyjętych uproszczeń i założeń idealizujących złożoną rzeczywistość (walkę, bitwę, operację).

### 3.2.4. Rozszerzenia modeli Lanchestera

**R. Helmbold** (1968) wprowadził modyfikację klasycznego modelu Lanchestera, przyjmując, że efekty wzajemnego oddziaływania ogniowego przeciwników zależą także od aktualnej wartości stosunku sił, czyli:

$$\frac{dx}{dt} = -ayh\left(\frac{x}{y}\right), \quad \frac{dy}{dt} = -bxg\left(\frac{y}{x}\right)$$

gdzie funkcja  $h$  i  $g$  określają zależność współczynników niszczenia od stosunku sił. Mają one następujące własności:

$$g(1) = h(1) = 1, \quad h(q^{-1}) \equiv g(q)$$

$$\frac{dh(q)}{dq} > 0, \quad \frac{dg(q)}{dq} \geq 0$$

Niech  $z = x/y$ , a wtedy  $g(z) = h(z^{-1})$  oraz

$$\frac{dx}{dt} = -ayh(z), \quad \frac{dy}{dt} = -bxg(z^{-1})$$

Założmy, że  $h = z^c$ , a wtedy

$$\frac{dx}{dt} = -ay^{1-c}x^c, \quad \frac{dy}{dt} = -by^c x^{1-c}$$

zaś rozwiązanie tych równań ma postać

$$u = c h(\rho t) - \alpha sh(\rho t)$$

$$v = c h(\rho t) - \alpha^{-1} sh(\rho t)$$

gdzie:  $u=(x/x_0)^{1-c}$ ,  $v=(y/y_0)$

$$\rho = (1-c) (a b)^{1/2}$$

$$\alpha = (y_0/x_0)^{1-c} (a/b)^{1/2}$$

eliminując  $t$  otrzymamy

$$\frac{x_0^{2(1-c)} - x^{2(1-c)}}{y_0^{2(1-c)} - y^{2(1-c)}} = \frac{a}{b}$$

oraz

$$\frac{dz}{dy} = y^2 \quad \left( y \frac{dx}{dt} - x \frac{dy}{dt} \right) = bz^{z-c} - az^c$$

skąd otrzymujemy czas trwania walki

$$t = \int_{z_0}^z \frac{du}{bu^{2-c} - au^c} = \frac{\text{cth}^{-1}(z_0^{1-c}\sqrt{b/a}) - \text{cth}^{-1}(z^{1-c}\sqrt{a/b})}{(1-c) \sqrt{ab}}$$

### 3.3. Synteza matematycznych modeli walki

Z powyższych rozważań wynika, że podstawą modeli walki jest model Lanchestera. Jest to model klasy deterministycznej i liniowej. I choć w typologii formanych modeli matematycznych są to najprostsze formy modeli, to mimo wszystko posiadają ważne znaczenie teoretyczno – praktyczne. Po pierwsze: modele teoretycznie wartościowsze (według przeświadczenia podmiotu modelującego) jest dość trudno zoperacjonalizować, a po drugie: model ten jest niejako formalizacją naturalnego związku dwóch przeciwstawnych stron wyrażonym w postaci równania dynamicznego (różniczkowego). W tabeli 3 przedstawione zostały typowe (oczywiste) modyfikacje równań Lanchestera wynikające z uwzględnienia podstawowych, dodatkowych uwarunkowań przyjmowanych przez różnych autorów.

Tabela 3 Zestawienie matematycznych modeli walki opartych na modelu Lanchestera

Typ	Równania	Równania stanu
<b>A</b>	$dx/dt = -ay$ $dy/dt = -bx$	Lanchester (1914) $b(x_0^2 - x^2) = a(y_0^2 - y^2)$ (prawo kwadratowe)
<b>B</b>	$dx/dt = -axy$ $dy/dt = -bxy$	Lanchester (1914) $b(x_0 - x) = a(y_0 - y)$ (prawo liniowe)
<b>C</b>	$dx/dt = -ay$ $dy/dt = -bxy$	Brackney (1959) $b/2(x_0^2 - x^2) = a(y_0 - y)$ (prawo mieszane)
<b>D</b>	$dx/dt = -ax$ $dy/dt = -by$	Peterson (1953) $b \ln(x/x_0) = a \ln(y/y_0)$ (prawo logarytmiczne)
<b>E</b>	$dx/dt = -ay - bx$ $dy/dt = -bx - ay$	Morese, Kimball (1951)
<b>F</b>	$dx/dt = -ayh(x/y)$ $dy/dt = -bx(y/x)$	Helmbold (1968)
<b>G</b>	$dx/dt = -y(2bx + cy)$ $dy/dt = -x(bx + 2cy)$	Woodcock, Dockery (1986)

## 4. PROPOZYCJA MATEMATYCZNEGO MODELU WALKI

Rozpatrujemy lądowe działania bojowe dwóch umownych stron walczących A i B takiego szczebla, dla którego modelowane zjawiska mają charakter masowy, tzn. nie wymagają w modelu opisu zachowania się wszystkich elementarnych środków walki. Zakładamy, że stroną inicjującą działania bojowe jest strona A, która w procesie planowania działań uwzględnia decyzje przełożonego wyższego szczebla dowodzenia, posiadane i przewidywane informacje o przeciwniku oraz możliwości jego przeciwdziałania w czasie realizacji zadania bojowego.

W dalszej części indeksem "A" oznaczać będziemy istotne (i na ogół znane) cechy strony A, a indeksem "B" - istotne (i na ogół przewidywane) cechy strony B.

Dla każdej ze stron walczących rozpatrujemy trzy szczeble dowodzenia:

- szczebel nadrzędny, którego zarządzenie bojowe lub rozkaz operacyjny ma być realizowane przez walczącą stronę,
- szczebel zasadniczy, dla którego opisywany jest proces planowania działań bojowych,
- szczebel podrzędny, dla którego przewiduje się sposób działania dla ustalonego zarządzenia bojowego lub rozkazu operacyjnego szczebla zasadniczego.

### 4.1. Opis stron

#### 4.1.1. Potencjały i stan stron

Dla strony A ustalony jest pas działania  $P^A \subset E^2$ , na którym szczebel - zasadniczy ma zaplanować działania bojowe zgodnie z zadaniem ustalonym przez szczebel nadrzędny. W pasie tym należy zaplanować sposób działania dla jednostek rozpatrywanego szczebla podrzędnego, których jest  $J^A$ . Przewiduje się, że na rozpatrywanym terenie będą prowadziły działania jednostki odpowiedniego szczebla strony B, których jest  $J^B$ . Oddziaływać one - mogą na wojska strony A z pasa  $P^B \subset E^2$ .

Każda z rozpatrywanych jednostek charakteryzuje się potencjałem bojowym odpowiednio rozłożonym w terenie i zmiennym w czasie działań. Znane są różne metody wyznaczenia takiego potencjału. Podstawowa trudność pojawia się wtedy, gdy potencjałem mają

być opisane jednocześnie różne własności środków walki. Z przeprowadzonych badań wynika, że najważniejsze są trzy grupy parametrów środków walki świadczące o:

- możliwościach manewru w terenie,
- możliwościach oddziaływania ogniowego na przeciwnika,
- odporności na niszczące oddziaływanie przeciwnika.

Kolejna istotna trudność przy wyznaczaniu potencjału związana jest z tym, że jest on zależny od wielu czynników zewnętrznych, a szczególnie od terenu. Dlatego przyjęto zasadę posługiwania się trzema (wzajemnie zależnymi) potencjałami rozpatrywanymi w jednorodnym terenie wzorcowym, przy ustalonym, wzorcowym oddziaływaniu przeciwnika. Konkretny teren działań oraz przeciwnik wpływają na "sposób wykorzystania" tych potencjałów. Dla  $i$ -tej jednostki strony  $A$  są to:

- potencjał "**manewrowy**", decydujący o możliwościach wykonywania manewru siłami (bez manewru ogniem) na terenie wzorcowym; gęstość tego potencjału w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t$  oznaczmy symbolem  $m_i^A(x, y, t)$ ;
- potencjał "**ogniowy**", opisujący możliwość ogniowego niszczenia wzorcowego .. przeciwnika rozmieszczonego na wzorcowym terenie przy prowadzeniu ognia z terenu wzorcowego; potencjał ten opiszemy gęstością intensywności niszczenia (intensywnością oddawania celnych strzałów) z punktu  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t$  i oznaczmy symbolem  $\lambda_i^A(x, y, t)$ .
- potencjał "**obronny**", opisujący odporność w terenie wzorcowym na niszczące oddziaływanie wzorcowego przeciwnika prowadzącego ogień z wzorcowego terenu; potencjał ten opiszemy gęstością intensywności odporności na celne strzały przeciwnika dla wojsk własnych znajdujących się w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t$  i oznaczmy symbolem  $\omega_i^A(x, y, t)$ .

Analogiczne potencjały dla  $i$ -tej jednostki strony  $B$  oznaczmy symbolami:

$$m_i^B(x, y, t); \lambda_i^B(x, y, t) \omega_i^B(x, y, t).$$

Z pewnym przybliżeniem można powiedzieć, że dla ustalonych jednostek wojskowych i ich ustalonego ugrupowania wewnętrznego potencjały "ogniowy" oraz "obronny" dają się wyznaczyć przy znanym potencjale "manewrowym" i na jego podstawie. Niech taką możliwość opisują dla strony  $A$  operatory: .

$$\Lambda_i^A: m_i^A(\cdot, \cdot, \cdot) \rightarrow \lambda_i^A(\cdot, \cdot, \cdot)$$

$$\Omega_i^A: m_i^A(\cdot, \cdot, \cdot) \rightarrow \omega_i^A(\cdot, \cdot, \cdot)$$

czyli:

$$\Lambda_i^A (m_i^A) = \lambda_i^A$$

$$\Omega_i^A (m_i^A) = \omega_i^A$$

Analogicznie dla strony B niech będą operatory

$$\Lambda_i^B: m_i^B(\cdot, \cdot, \cdot) \rightarrow \lambda_i^B(\cdot, \cdot, \cdot)$$

$$\Omega_i^B: m_i^B(\cdot, \cdot, \cdot) \rightarrow \omega_i^B(\cdot, \cdot, \cdot)$$

czyli:

$$\Lambda_i^B (m_i^B) = \lambda_i^B$$

$$\Omega_i^B (m_i^B) = \omega_i^B$$

Stan strony  $S^A(t)$  strony A w chwili  $t$  opisywany jest głównie rozmieszczeniem potencjałów, czyli wektorem:

$$\left\langle m_i^A(\cdot, \cdot, t), \lambda_i^A(\cdot, \cdot, t), \omega_i^A(\cdot, \cdot, t) \right\rangle_{i=1, J^A}$$

i analogicznie dla strony B wektorem

$$\left\langle m_i^B(\cdot, \cdot, t), \lambda_i^B(\cdot, \cdot, t), \omega_i^B(\cdot, \cdot, t) \right\rangle_{i=1, J^B}$$

Uwzględniając to, że potencjały „ogniowy” oraz „obronny” można wyznaczyć na podstawie znajomości operatorów  $\Lambda_i^A, \Lambda_i^B, \Omega_i^A, \Omega_i^B$ , możemy przyjąć:

$$S_A(t) = \left\langle m_i^A(\cdot, \cdot, t) \right\rangle_{i=1, J^A}$$

$$S_B(t) = \left\langle m_i^B(\cdot, \cdot, t) \right\rangle_{i=1, J^B}$$

Z tych samych powodów potencjał „manewrowy” traktowany może być jako pierwotny dla dwóch pozostałych. Dlatego dalej nazywać go będziemy *potencjałem*, gdy nie będzie to mylące.

Inne wielkości opisujące dynamikę bojowych działań traktowane będą jako charakterystyki stanów stron walczących.

#### 4.1.2. Przykładowa metoda ustalania potencjałów stron.

Problem wyboru albo opracowania metody określania potencjału stron walczących jest problemem złożonym a racjonalne jego rozwiązanie nie jest łatwe. Zależy on od wielu czynników i uwarunkowań, spośród których znaczna część ma charakter niezdeterminowany lub (i) trudny do określenia w sposób ilościowy.

Podstawowym problemem określenia potencjału jest metoda ustalania jednostkowego potencjału poszczególnych typów sprzętu i uzbrojenia. Trudnością w ustalaniu potencjału poszczególnych typów sprzętu i uzbrojenia jest jego różnorodność, a z tego wynikające trudności -- w doborze parametrów charakteryzujących wszystkie typy sprzętu i uzbrojenia, pozwalającym na ich wzajemne porównania poprzez jednolity współczynnik potencjału.

Na pełną ocenę potencjału poszczególnych wzorów sprzętu i uzbrojenia bardzo duży wpływ ma struktura organizacyjna pododdziałów - i oddziałów oraz ich taktyka działania. W ocenie taktyki pododdziałów i oddziałów, dla wszystkich rodzajów walki i prowadzonych działań bojowych, szczególnie skomplikowane, a tym samym trudne do uwzględnienia, są:

- rodzaje szyków oraz struktura ugrupowań bojowych wojsk własnych i -- przeciwnika;
- nasycenie w terenie poszczególnych wzorów sprzętu i uzbrojenia; - struktura, rodzaje i ilość środków ogniowych w systemie ognia. Czynniki powyższe są trudne do oceny w wielkościach liczbowych.

#### *Opis metody*

Proponowana metoda oceny potencjału walczących stron jest jednolita dla wszystkich rodzajów sprzętu i uzbrojenia. Jej istota polega na (metoda QJM []):

- porównaniu parametrów ocenianych wzorów sprzętu i uzbrojenia z
- parametrami idealnego (wzorcowego) egzemplarza sprzętu, najbardziej odpowiadającego potrzebom pola walki;
- odpowiednim wyważeniu parametrów poprzez nadanie każdemu z nich odpowiedniej

wagi; .

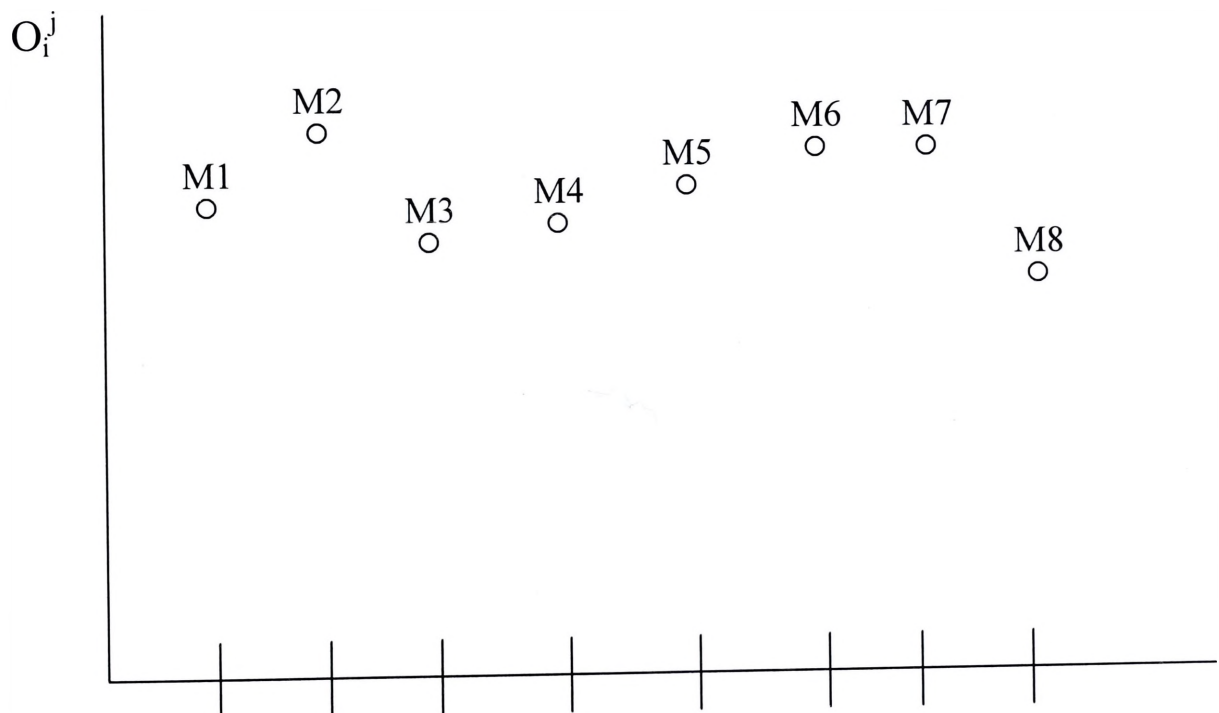
- zalgorytmizowanym wyliczaniu ocen sprzętu i uzbrojenia na podstawie wcześniej przygotowywanych danych ilościowych i jakościowych charakteryzujących oceniane rozwiązanie.

Zbiór parametrów opisujących oceniane wzory sprzętu i uzbrojenia powinien zawierać tak parametry charakteryzowane liczbowo jak i jakościowo. Parametry opisywane liczbowo to takie, które można zmierzyć dla poszczególnych wzorów sprzętu i uzbrojenia, natomiast parametry jakościowe to takie które, sygnalizują występowanie lub nie określonego rozwiązania. Każdy z parametrów (charakteryzowanych liczbowo bądź jakościowo) ma ponadto przyporządkowaną wagę, która określa udział oceny danego parametru w globalnej ocenie potencjału sprzętu i uzbrojenia. W opisie matematycznym dla oceny poszczególnych parametrów przyjęto dwa różne rozwiązania charakteryzujące grupę parametrów jakościowych i grupę parametrów ilościowych (mierzalnych).

Dla parametrów jakościowych należy przyjąć funkcję dyskretną - przyjmującą poszczególne wartości w zależności od przyjętego rozwiązania, co można zapisać w postaci:

$$O_i^j \in \{M1, \dots, M8\} \quad \text{dla } j = \overline{1,8}$$

Zapis ten można przedstawić w postaci graficznej .



Rys.5. Wartości parametru jakościowego

Najlepszemu rozwiązaniu (lub możliwie najlepszemu) danego parametru jakościowego przypisuje się ocenę maksymalną. Oznaczenia:

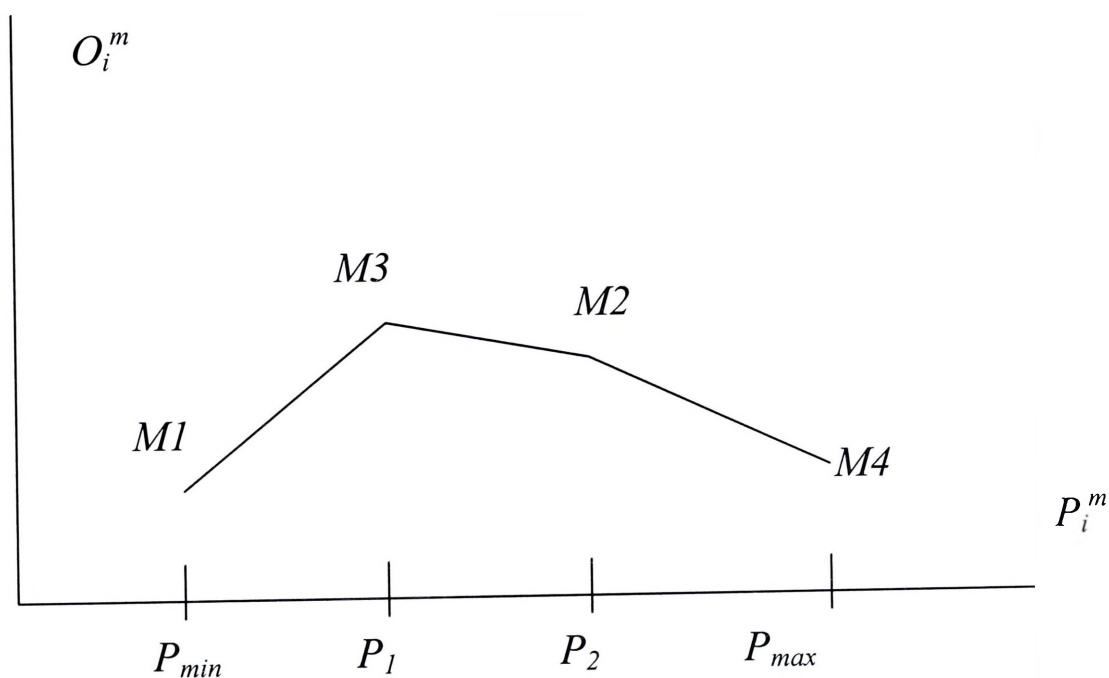
$O_i^j$  - ocena i-tego parametru jakościowego dla j - tej cechy

$M1 - M8$  - możliwe oceny rozwiązań i-tego parametru jakościowego

Dla parametrów ilościowych (mierzalnych) przyjęto funkcję ciągłą w założonych zakresach zmienności. Funkcja opisująca ocenę i-tego parametru ilościowego (mierzalnego) posiada zakresy, w których ocena parametru może przyjąć następujące wartości:

$O_i^m = M1$	dla	$P_i^m \leq P_{min}$
$O_i^m \in [M1, M2]$	dla	$P_{min} < P_i^m \leq P_1$
$O_i^m \in [M1, M3]$	dla	$P_1 < P_i^m \leq P_2$
$O_i^m \in [M1, M3]$	dla	$P_2 < P_i^m \leq P_{max}$
$O_i^m = M4$	dla	$P_{max} < P_i^m$

Można to przedstawić graficznie:



Rys.6. Postać funkcji dla parametru ilościowego

gdzie:

$M1 - M4$  - możliwe oceny rozwiązań i-tego parametru w wyróżnionych punktach

$P_i^m$  - wartość i-tego parametru ilościowego.

$O_i^m$  - ocena i-tego parametru ilościowego.

$P_{mi}$  - minimalna wartość i-tego parametru ilościowego

$P_{max}$  - maksymalna wartość i-tego parametru ilościowego

$P_1, P_2$  - punkty graniczne wartości pożądanых i-tego parametru ilościowego

Ocena punktowa danego parametru jest zawsze w przedziale: [0, 1000]. Opis matematyczny oceny i-tego parametru ilościowego (mierzalnego) w zależności od jego wartości jest następujący:

$$O_i^m = M1$$

$$P_i^m \leq P_{min}$$

$$O_i^m = M1 + \frac{(M2 - M1)(P_i^m - P_{min})}{P_1 - P_{min}}$$

$$P_{min} < P_i^m \leq P_1$$

$$O_i^m = M2 + \frac{(M3 - M2)(P_i^m - P_1)}{P_2 - P_1}$$

$$P_1 < P_i^m \leq P_2$$

$$O_i^m = M3 + \frac{(M4 - M3)(P_i^m - P_1)}{P_{max} - P_2}$$

$$P_2 < P_i^m \leq P_{max}$$

$$O_i^m = M4$$

$$P_{max} < P_i^m$$

Ocena egzemplarza sprzętu i uzbrojenia wyliczana jest ze wzoru:

$$O_p^k = \frac{\sum_i (O_{ip}^k \cdot W_{ip}^k)}{\sum_i W_{ip}^k}$$

gdzie:

$O_s^p$  - ocena potencjału k-tego rodzaju sprzętu

$O_{ip}^k$  - ocena i-tego parametru k-tego egzemplarza sprzętu

$W_{ip}^k$  - waga i-tego parametru w ocenie potencjału k-tego rodzaju sprzętu

#### *Dobór parametrów opisujących potencjału sprzętu i uzbrojenia*

Potencjał sprzętu i uzbrojenia jest przede wszystkim kompozycją trzech elementów tj. . ruchu i ognia lub inaczej - uderzenia, manewru i ognia oraz nie mniej istotnego elementu jakim jest odporność na ogień. Wszystkie trzy elementy potencjału bojowego sprzętu i uzbrojenia są funkcją danych taktyczno-technicznych (osiągów) a ponadto:

- niezawodności działania elementów i zespołów broni,
- warunków atmosferycznych,
- parametrów zwalczanych celów,
- położenia na polu walki.

Oprócz parametrów bezpośrednio opisujących ogień, i ruch, należy wziąć pod uwagę jeszcze szereg parametrów wpływających pośrednio np. zasilanie logistyczne, podatność na dowodzenie itp.

### *Parametry opisujące ogień*

Przez ogień rozumiemy fizyczne i moralne oddziaływanie uzbrojenia. Parametry charakteryzujące ogień są przede wszystkim pochodną parametrów taktyczno-technicznych opisujących uzbrojenie. Wśród parametrów opisujących uzbrojenie integralną ich częścią są również parametry opisujące zastosowaną amunicję do uzbrojenia lub samą amunicję, a w tym miny i granaty. Pomimo, że parametrów opisujących ogień może być wiele, jednak tylko niektóre w istotny sposób wpływają na ogólną charakterystykę ognia. Ponadto część parametrów opisuje wprost uzbrojenie, a część wpływa w sposób pośredni.

Do parametrów istotnych możemy zaliczyć:

#### **1. parametry mierzalne - ilościowe:**

- kaliber lufy,
- szybkostrzelność praktyczna,
- donośność pocisku OF,
- zasięg ognia skutecznego pocisku kumulacyjnego,
- zasięg ognia skutecznego pocisku podkalibrowego,
- ciężar pocisku,
- szybkość początkowa pocisku,
- prawdopodobieństwo trafienia w cel pierwszym pociskiem,
- kąt ostrzału,
- maksymalny kąt podniesienia,
- jednostka ognia,
- pole rażenia,
- pole martwe,
- grubość przebijanego pancerza,
- szybkość naprowadzania na cel,
- minimalny pomiar odległości,
- maksymalny pomiar odległości,
- rozpoznanie celu w dzień na odległość,
- rozpoznanie celu w nocy na odległość,

#### **2. parametry jakościowe (niemierzalne): ..**

- stabilizacja (brak, jest - typ),
- przyrządy celownicze (typ),
- rodzaj kierowania pociskiem (typ),
- rodzaj sterowania (prowadzenia ognia),

- możliwość prowadzenia ognia przy ograniczonej widoczności
- możliwość prowadzenia ognia w nocy,
- dalmierz (t/n),
- typ dalmierza.

#### *Parametry opisujące odporność na rażenie:*

Przez odporność na rażenie rozumiemy fizyczną ochronę przed oddziaływaniem ogniowym uzbrojenia przeciwnika. Parametry charakteryzujące odporność na rażenie są przede wszystkim pochodną parametrów taktyczno-technicznych opisujących uzbrojenie. Do parametrów istotnych możemy zaliczyć:

##### **1. parametry mierzalne - ilościowe:**

- grubość opancerzenia,
- minimalny potencjał ognia 1 egz. sprzętu przeciwnika niezbędny do wyeliminowania ocenianego uzbrojenia,

##### **2. parametry jakościowe (niemierzalne):**

- opancerzenie (jest/brak),
- środki maskujące (są/brak),
- ochrona ppoż.,
- możliwość maskowania własnymi urządzeniami,
- możliwość maskowania urządzeniami specjalistycznymi.

#### *Parametry opisujące ruch*

Ruch jest zmianą położenia bez zmiany ugrupowania. Ruch dotyczy z zasady pojedynczych środków walki i pozostałego sprzętu technicznego. Ruch zależy bezpośrednio od środków ruchu (środków transportu) i środków walki, a pośrednio także od poziomu wyszkolenia wojsk, form i organizacyjnych oddziałów (związków), operatywności w dowodzeniu wojskami, zaopatrzenia materiałowo-technicznego, wydolności fizycznej i psychicznej żołnierzy. Do parametrów istotnych możemy zaliczyć:

Parametry opisujące ruch:

##### **1. parametry mierzalne (ilościowe):**

- nacisk jednostkowy na grunt,
- moc jednostkowa,
- prędkość maksymalna w terenie,

- prędkość maksymalna po szosie,
- zasięg po szosie,
- zasięg w terenie,
- minimalny promień skrętu,
- pokonywanie wzniesień (st.),
- maksymalny przechył boczny,
- wysokość pokonywanej ścianki,
- szerokość pokonywanego rowu,
- głębokość pokonywanego brodu bez przygotowania,

## 2. parametry jakościowe (niemierzalne):

- możliwość pokonywania przeszkód przy użyciu sprzętu specjalnego (inz.),
- możliwość prowadzenia działań w nocy.

### *Sposób ustalania potencjału pododdziałów i oddziałów*

Potencjał pododdziałów i oddziałów nie jest wprost proporcjonalny do sumy potencjałów poszczególnych typów sprzętu i uzbrojenia. Na potencjał dodatkowo wpływają parametry nie charakteryzujące samego sprzętu i uzbrojenia. Do takich parametrów możemy zaliczyć:

- wielkość zapasów środków materiałowych, - możliwości transportowe,
- możliwości ewakuacyjne sprzętu i uzbrojenia, - możliwości remontowe,
- podatność na dowodzenie:
- stopień rozbudowy inżynieryjnej terenu, \_.
- wielkość pól minowych, - stopień maskowania,
- rzeźba terenu.
- miejsce w ugrupowaniu bojowym (oddziału, pododdziału).

Aby wyliczyć potencjał oddziału (pododdziału) i jego charakterystykę przestrzenną należy oprzeć się na schematach ugrupowania bojowego. Potencjał można wyliczyć ze wzoru:

$$P_o = \sum_s (O_s^k \cdot I_s^k) \cdot \frac{\sum_p (O_p \cdot W_p)}{\sum_p W_p}$$

gdzie:

$P_o$  - potencjał oddziału (pododdziału)

$O_s^k$  - ocena potencjału 1 egz. k-tego rodzaju sprzętu

$I_s^k$  - ilość k-tego rodzaju sprzętu w szyku

$O_p$  = ocena parametru pośrednio wpływającego na potencjał sprzętu

$W_p$  - waga parametru pośrednio wpływającego na potencjał sprzętu

Sposób wyliczania poszczególnych potencjałów tj. potencjału "manewrowego", "ogniowego" i "obronnego" jest taki sam. Zmienia się tylko lista parametrów wchodzących w skład danego potencjału.

Rozkład przestrzenny potencjału jest proporcjonalny do przyjętego ugrupowania bojowego i wielkości charakteryzujących położenie oddziałów (pododdziałów) względem siebie.

## 4.2. Opis terenu

W konsekwencji wyróżnienia trzech rodzajów potencjałów stron walczących przyjęto, że teren będzie wpływał na:

- możliwość dokonywania manewru siłami,
- możliwość prowadzenia ognia celnego,
- odporność na celny ogień przeciwnika.

Przy analizowaniu pierwszego oddziaływania terenu przyjęto, że potencjał jednostki walczącej będzie interpretowany jako pewna *masa*, która podlega powszechnym prawom fizycznym. Teren oddziałuje więc na taką masę poprzez pewną siłę, która zależy od własności terenu (w każdym jego punkcie) oraz od wektora prędkości poruszającej się po nim masy. Siła taka nazwana została siłą hamowania, a jej zależność od terenu w przypadku ogólnym opisano współczynnikiem  $\varphi(x, y, v)$  zależnym od punktu terenowego  $(x, y) \in P^A$  oraz wektora prędkości  $v$  obiektu poruszającego się w tym punkcie.

W szczególności można w ten sposób uwzględnić różne pokrycie terenu, jego rzeźbę oraz niejednorodność oddziaływania na ruch obiektów w zależności od jego kierunku. Jednocześnie można uwzględnić inne własności terenu wynikające np. z rozbudowy inżynierskiej.

Drugą cechą terenu uwzględnioną przy manewrze jest jego wpływ na zdolność do zachowania ustalonego ugrupowania bojowego. Przyjmijmy, że w chwili  $t$  gęstość potencjału w punkcie  $(x, y)$  jest różna o  $\Delta m_i^A(x, y, t)$  od wielkości zadanej wynikającej z ustalonego ugrupowania bojowego: Wpływ terenu na szybkość likwidowania tej rozbieżności niech opisuje współczynnik  $k(x, y)$  oznaczający intensywność zmian potencjału jednostkowego w punkcie  $(x, y)$  w celu osiągnięcia potencjału zadanego. Oznacza to, że pierwsza pochodna po czasie potencjału w tym punkcie będzie równa:

$$k(x, y) = \Delta m_i^A(x, y, t)$$

jeżeli nie będziemy rozpatrywali innych przemieszczeń potencjału w tym punkcie. Współczynnik  $k(x, y)$  charakteryzuje więc ruchliwość pojedynczych środków walki przy zachowywaniu ustalonego ugrupowania bojowego.

W dalszej części opracowania w poszczególnych jego fragmentach będą wprowadzone również inne charakterystyki terenu wpływające na możliwość wykonywania manewru. Dotyczy to głównie przypadków, gdy dla uzyskania mniejszej złożoności obliczeniowej proponowanych algorytmów wprowadza się dyskretyzację terenu.

Wpływ terenu na możliwość prowadzenia ognia celnego opisuje wielkość  $g(x, y, v)$ , która oznacza stosunek intensywności prowadzenia ognia celnego do wzorcowego przeciwnika przez środki ogniowe poruszające się w punkcie  $x$ , z prędkością określoną wektorem  $v$  do takiej intensywności, ale dla nie poruszających się środków ogniowych znajdujących się w terenie wzorcowym. W podobny sposób opisano wpływ terenu na odporność środków walki na celny ogień przeciwnika. Wielkość  $h(x, y, v)$  oznacza stosunek odporności na celne strzały wzorcowego przeciwnika środków poruszających się w punkcie  $(x, y)$  z prędkością określony wektorem  $v$ , do takiej samej odporności, ale do środków nie poruszających się i znajdujących w terenie wzorcowym.

Ze względu na rozpatrywanie taktycznego szczebla działań bojowych w przyjęto, że wszystkie charakterystyki opisujące teren są stacjonarne.

### 4.3. Opis środków walki

W opracowaniu przyjęto generalne założenie, że wszystkie rozpatrywane potencjały wyrażone są w identycznych, jednorodnych, wzorcowych jednostkach miary dla obu stron walczących. Nie zmienia to faktu, że własności bojowe poszczególnych środków walki wpływające na ich sposób uczestniczenia w działaniach bojowych mogą być różne. W opracowaniu przyjęto, że takie zróżnicowanie ogranicza się do charakterystyk walczących jedno-

stek, które występują w ilości  $J^A$  po stronie A oraz  $J^B$  po stronie B. Oznacza to, że tylko środki walki występujące w tej samej jednostce traktowane są jako jednorodne. W konsekwencji możemy przyjąć, że strony A i B posiadają odpowiednio  $J^A$  oraz  $J^B$  typów środki walki, z których każdy opisany jest odpowiednimi charakterystykami.

Pierwsza grupa charakterystyk związana jest z możliwością przeprowadzenia manewru środkami i powiązana z własnościami terenu. Należą do niej:

$V_i^A(x,y)$  - maksymalny wektor prędkości poruszania się w punkcie  $(x, y)$  środków walki wchodzących w skład i-tej jednostki strony A,

$M_i^A(x,y)$  - maksymalny stopień koncentracji w punkcie  $(x, y)$  gęstości potencjału środków walki wchodzących w skład i-tej jednostki strony A.

Analogiczne wielkości dla strony B oznaczmy symbolami:

$V_i^B(x,y)$  - maksymalny wektor prędkości poruszania się w punkcie  $(x, y)$  środków walki wchodzących w skład i-tej jednostki strony B,

$M_i^B(x,y)$  - maksymalny stopień koncentracji w punkcie  $(x, y)$  gęstości potencjału środków walki wchodzących w skład i-tej jednostki strony B.

Druga grupa charakterystyk opisuje możliwości prowadzenia skutecznego ognia w zależności od wzajemnego położenia w terenie środka walki prowadzącego ogień i jego celu. Dla środków walki wchodzących w skład i-tej jednostki strony A będzie to wielkość  $Q_i^A(x', y', x'', y'')$  oznaczająca stosunek intensywności oddawania strzałów celnych, do takiej intensywności w warunkach wzorcowych w przypadku, gdy ogień prowadzą środki walki i-tej jednostki z punktu  $(x', y')$  do celu wzorcowego znajdującego się w punkcie  $(x'', y'')$ .

Analogiczną charakterystyki dla i-tej jednostki strony B jest  $Q_i^B(x', y', x'', y'')$ .

Ze względu na rozpatrywanie taktycznego szczebla działań bojowych przyjęto, że wszystkie charakterystyki środków walki są stacjonarne.

#### **4.4.Opis decyzii stron**

##### **4.4.1. Decyzje szczebla nadrzednego**

W modelu uwzględnione są dla obu stron decyzje na trzech różnych szczeblach dowodzenia. Przyjęto, że szczebel nadrzędny strony A w swoim zarządzeniu bojowym lub rozkazie operacyjnym ustala następujące wielkości:

T - długość przedziału czasu, dla którego planowane są działania bojowe rozpatrywanego szczebla, przy czym przyjęto, że działania rozpoczynają się w chwili  $t=0$ ,

$P^A$  - pas działania strony A.

Z zamiaru działania nadrzędnego szczebla dowodzenia wynikają ponadto: kierunek głównego działania, zadanie bliższe dalsze itp. Mogą one być łącznie przedstawione w postaci krzywej parametrycznej:

$$\alpha^A(t) = \langle \chi^A(t), y^A(t) \rangle$$

przy  $\alpha^A(t)$  oznacza pożądaną położenia środka ciężkości potencjału "manewrowego" wszystkich jednostek strony A w chwili t. Współrzędne tego środka określone są wzorami:

$$\iint_{P^A} x m_i^A(x, y, t) dP^A \quad : M^A$$

$$\iint_{P^B} x m_i^B(x, y, t) dP^B \quad : M^B$$

gdzie:

$$M^A = \iint_{P^A} x m_i^A(x, y, t) dP^A$$

Analogiczną wielkością przewidywaną dla strony B jest trajektoria:

$$A^B(t) = \langle \chi^B(t), y^B(t) \rangle$$

Szczebel nadrzędny ustala ponadto plan wsparcia i wzmocnienia, który w modelu jest wyrażany jako:

$\eta^A(x, y, t)$  - wielkość potencjału "manewrowego", który w wyniku wsparcia i wzmocnienia pojawi się w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t \in [0, T)$ ,

$\delta^A(x, y, t)$  - wielkość potencjału "ogniowego" który w wyniku wsparcia i wzmocnienia pojawi się w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t \in [0, T)$

$v^A(x, y, t)$  - wielkość potencjału "obronnego", który w wyniku wsparcia i wzmocnienia pojawia się w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t \in [0, T]$ .

Podobnie jak poprzednio założono, że istnieją operatory:

$$\Lambda^A: \eta^A(\dots) \rightarrow \delta^A(\dots)$$

$$\Omega^A: \eta^A(\dots) \rightarrow v^A(\dots)$$

które pozwalają na wyznaczenie potencjałów "ogniowego" i "obronnego" przy znajomości potencjału "manewrowego".

Analogicznymi wielkościami przewidywanymi dla strony B są:

$$\eta^B(x, y, t), \delta^B(x, y, t), v^B(x, y, t)$$

Szczegółowy sposób uwzględniania w modelu problematyki wsparcia i wzmocnienia przedstawiono w dalszej części opracowania.

Ostatnim elementem uwzględnionym w modelu, wynikającym z decyzji szczebla nadrzędnego (szczebli nadrzędnych), jest sposób oceny realizacji tej decyzji. W ogólnym przypadku może on uwzględniać straty własne i przeciwnika, położenie stron walczących w czasie działań bojowych, wytworzoną sytuację na ich zakończenie itp. Może być więc opisany funkcjonałem zależnym od rozkładów wszystkich potencjałów stron walczących w czasie działań bojowych. Uwzględniając jednak fakt, że potencjały "ogniowy" i "obronny" są wtórne w stosunku do potencjału "manewrowego", możemy przyjąć, że powyższy funkcjonal ma postać:

$$\rho^A(m^A(\dots), m^B(\dots))$$

gdzie:

$$m^A(\dots) = \sum_{i=1}^{J^A} m_i^A(\dots)$$

$$m^B(\dots) = \sum_{i=1}^{J^B} m_i^B(\dots)$$

Ponadto dla prawidłowego przewidywania przeciwdziałania przeciwnika niezbędne jest określenie jego sposobu oceny działań bojowych, który też może przedstawiać funkcjonał:

$$\rho^B(m^B(\dots), m^B(\dots))$$

W szczególności, gdy  $\rho^B = -\rho^A$ , to taka sytuacja odpowiada tzw. grze z zerową sumy wypłat. Może to odpowiadać np. przypadkowi, gdy każda z walczących stron dąży do uzyskania jak największej różnicy pomiędzy stronami przeciwnika i własnymi.

### 2.5.2. Decyzje szczebla zasadniczego

Drugim szczeblem podejmowania decyzji jest szczebel zasadniczy, który planuje działania bojowe dla podległych mu jednostek (w liczbie  $J^A$  dla strony A oraz  $J^B$  dla strony B). Dla i-tej swojej jednostki szczebel zasadniczy ustala jej pas działania  $P_i^A$ , przy czym te pasy działania tworzą podział pasa  $P_i^A$  tzn.:

$$\bigcup_{i=1}^{J^A} P_i^A = P^A, \quad (i \neq j) \Rightarrow P_i^A \cap P_j^A = \phi$$

Jednostki strony A muszą tak wykonywać swoje zadania, aby ograniczać się do swoich pasów działania. Oznacza to, że muszą być spełnione następujące warunki:

$$m_i^A(x, y, t) > 0 \Rightarrow (x, Y) \in P_i^A$$

$$\lambda_i^A(x, y, t) > 0 \Rightarrow (x, Y) \in P_i^A$$

$$\omega_i^A(x, y, t) > 0 \Rightarrow (x, Y) \in P_i^A$$

Kolejne decyzje szczebla zasadniczego dotyczą głównych kierunków działania jednostek, ich zadań itd. i są wyrażane w postaci krzywych parametrycznych:

$$\alpha_i^A(t) = \langle \chi_i^A(t), \gamma_i^A(t) \rangle$$

przy czym  $\alpha_i^A(t)$  oznacza pożądaną położenie środka ciężkości potencjału "manewrowego" i-tej jednostki w chwili t. Współrzędne tego środka określone są wzorami:

$$\iint_{P_i^A} x m_i^A(x, y, t) dP_i^A \quad : \quad \iint_{P_i^A} m_i^A(x, y, t) dP_i^A$$

$$\iint_{P_i^A} y m_i^A(x, y, t) dP_i^A \quad : \quad \iint_{P_i^A} m_i^A(x, y, t) dP_i^A$$

Szczebel zasadniczy ustala ponadto sposób ugrupowania bojowego dla swoich jednostek. Można powiedzieć, że ten sposób jednoznacznie opisuje pożądaną rozkład potencjału

"manewrowego" (pozostałe potencjały z niego wynikają). Rozkład ten może być różny w poszczególnych etapach działań bojowych. Ponieważ szczebel zasadniczy nie zna w trakcie planowania działań faktycznego położenia swoich jednostek w czasie realizacji działań, więc struktura taka nie powinna być dowiązana do konkretnych punktów terenowych. Ponadto nie są też znane w czasie planowania faktyczne - przyszłe potencjały jednostek, gdyż zależą one od wielu czynników np. od działania ogniowego przeciwnika. Z powyższych rozważań wynika, że przedstawienie ugrupowania bojowego w postaci pożądanego rozkładu potencjału powinno mieć charakter względny. Przyjmijmy więc, że sumaryczny potencjał wzorcowy i-tej jednostki strony A jest równy pewnej wielkości stałej (na przykład jest równy 1). Załóżmy ponadto, że jego środek ciężkości znajduje się w stałym punkcie pewnego układu współrzędnych (np. w punkcie (0,0)), czyli że ten układ współrzędnych może poruszać się razem z ruchem środka ciężkości potencjału jednostki. Niech ponadto oś Ox pokrywa się z kierunkiem ruchu środka ciężkości potencjału jednostki.

Określmy dla chwili  $t \in [0, T]$  w tym układzie współrzędnych funkcję  $M_i^A(x, y, t)$ , którą nazwiemy wzorcowym rozkładem potencjału i-tej jednostki strony A w chwili t prowadzenia działań bojowych lub, krócej, wzorcem ugrupowania tej jednostki. Interpretacja tej funkcji jest następująca: jeżeli w chwili t środek ciężkości potencjału i-tej jednostki jest równy  $(x'(t), y'(t))$ , porusza się ona w kierunku różnym o kąt  $\beta(t)$  od osi Ox, a cały jej potencjał wynosi  $M(t)$ , to pożądaný rozkład potencjału tej jednostki w chwili t w punkcie  $(x, y)$  jest określony wyrażeniem:

$$M(t) \cdot M_i^A((x-x'(t)) \cdot \cos\beta(t) + (y-y'(t)) \cdot \sin\beta(t),$$

$$(y-y'(t)) \cdot \cos\beta(t) - (x-x'(t)) \cdot \sin\beta(t), t).$$

Jednostka i-ta strony A powinna podjąć działania, aby zniwelować różnicę pomiędzy powyższą wielkością a faktyczną wartością rozkładu potencjału w tym punkcie równą  $m_i^A(x, y, t)$ .

Ostatnią, w prezentowanym modelu, decyzję szczebla zasadniczego strony A jest decyzja dotycząca sposobu podziału potencjału "ogniowego" każdej jednostki walczącej dla zwalczania jednostek przeciwnika w czasie działań bojowych. Przyjmuje się, że jest to funkcja:

$$X_i^A : \{1, 2, \dots, J^B\} \times [0, T] \rightarrow [0, 1]$$

której wartość  $X_i^A(j, t)$  oznacza wielkość części potencjału "ogniowego"  $i$ -tej jednostki strony A przeznaczonej w chwili  $t$  do oddziaływania ogniowego na  $j$ -tą jednostkę strony B. Z powyższej definicji wynika, że spełnienie warunku:

$$\sum_{i=1}^{J^B} X_i^A(j, t) \leq 1 \quad \text{dla } t \in [0, T]$$

zapewni rozdysponowanie tylko posiadanego potencjału "ogniowego". Jeżeli dodatkowo przyjmiemy, że posiadane środki (z uwzględnieniem zaopatrywania) pozwalają na wykorzystanie przez  $i$ -tą jednostkę do chwili tylko  $\bar{\Delta}_i^A(t)$  łącznego potencjału "ogniowego", to na powyższe funkcje będzie nałożony dodatkowy warunek w postaci:

$$\sum_{i=1}^{J^B} \int_0^t X_i^A(j, \tau) \cdot \iint_{P_i^A} \lambda_i^A(x, y, \tau) dP_i^A d\tau \leq \bar{\Delta}_i^A(t)$$

Analogicznie do powyższych decyzji szczebla zasadniczego strony A przyjmuje się, że przewidywane są decyzje stron B w postaci:

- pasów działania  $P^B$ ,
- trajektorii ruchu środków ciężkości  $\alpha_i^B(t)$ ,
- wzorców ugrupowań bojowych  $M_i^B(x, y, t)$ ,
- podziału potencjału "ogniowego"  $X_i^B(j, t)$

dla wszystkich jednostek strony B o numerach  $i = \overline{1, J^B}$

#### 4.4.2. Decyzje jednostek stron

Decyzje ustalone przez szczebel podrzędny jednostki strony A ograniczają się do ustalenia sposobu kierowania ogniem w postaci określenia funkcji:

$$x_i^A: P_i^A \times [0, T] \times P_i^B \rightarrow R^+ \cup \{0\}$$

dla  $i$ -tej jednostki strony A. Wartość  $x_i^A(x', y', t, x'', y'')$  oznacza gęstość podziału gęstości potencjału "ogniowego" punktu  $(x', y') \in P_i^A$  przeznaczonego w chwili  $t$  do oddziaływania ogniowego na punkt  $(x'', y'') \in P_i^B$  przeciwnika.

Dla wyjaśnienia interpretacji funkcji  $x_i^A$  podzielmy pas  $P_i^A$  na  $N$  rozłącznych parami obszarów  $\Delta^n P_i^A$  pokrywających w sumie cały pas  $P_i^A$ . Analogicznie pas  $P^B$  dzielimy na  $M$  rozłącznych parami obszarów  $\Delta^m P_i^B$  pokrywających w sumie cały pas  $P^B$ . Zgodnie z definicją

potencjału "ogniowego" wartość  $x_i^A(x', y', t, x'', y'')$  oznacza gęstość podziału gęstości intensywności oddawania celnych strzałów z punktu  $(x', y')$  do punktu  $(x'', y'')$  w chwili  $t$ .

Oznaczmy symbolem  $\|P\|$  wielkość obszaru  $P$ . Niech  $(x', y') \in \Delta^n P_i^A$  oraz  $(x'', y'') \in \Delta^m P^B$ . Wtedy wyrażenie

$$x_i^A(x', y', t, x'', y'') \cdot \|\Delta^m P^B\|$$

jest w przybliżeniu równe podziałowi gęstości intensywności oddawania w chwili  $t$  celnych strzałów z punktu  $(x', y')$  do obszaru  $\Delta^m P^B$ . Z kolei wyrażenie:

$$x_i^A(x', y', t, x'', y'') \cdot \lambda_i^A(x', y', t) \cdot \|\Delta^m P^B\|$$

odpowiada w przybliżeniu gęstości intensywności oddawania w chwili  $t$  celnych strzałów z punktu  $(x', y')$  do obszaru  $\|\Delta^m P^B\|$ , a wyrażenie

$$x_i^A(x', y', t, x'', y'') \cdot \lambda_i^A(x', y', t) \cdot \|\Delta^m P^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\|$$

jest w przybliżeniu równe intensywności oddawania w chwili  $t$  celnych strzałów z obszaru  $\Delta^n P_i^A$  do obszaru  $\Delta^m P^B$ .

$$x_i^A(x', y', t, x'', y'') \cdot \lambda_i^A(x', y', t) \cdot \|\Delta^m P^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

odpowiada więc w przybliżeniu ilości celnych strzałów oddanych w przedziale czasu  $(t, t+\Delta t)$  z obszaru  $\Delta^n P_i^A$  do obszaru  $\Delta^m P^B$ .

W takim razie sumaryczna ilość celnych strzałów oddanych w przedziale czasu  $(t, t+\Delta t)$  z obszaru  $\Delta^n P_i^A$  do pasa  $P^B$  wynosi w przybliżeniu:

$$\sum_{m=1}^M x_i^A(x', y', t, x'', y'') \cdot \lambda_i^A(x', y', t) \cdot \|\Delta^m P^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Powyższa liczba nie może być większa od ilości celnych strzałów, które w przedziale czasu  $(t, t+\Delta t)$  można oddać z obszaru  $\Delta^n P_i^A$ , określonej wzorem:

$$\lambda_i^A(x', y', t) \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Porównując powyższe wyrażenia otrzymujemy nierówność:

$$\sum_{m=1}^M x_i^A(x', y', t, x'', y'') \cdot \lambda_i^A(x', y', t) \cdot \|\Delta^m P^B\| \leq 1$$

Obliczając granicę lewej strony powyższej nierówności przy  $M \rightarrow \infty$  otrzymujemy warunek na funkcję  $x_i^A$  w postaci:

$$\iint_{P^B} x_i^A(x, y, t, z, w) dz dw \leq 1$$

Gdy w powyższym wzorze zachodzi równość oznacza to, że cały potencjał "ogniowy" strony A znajdujący się w chwili  $t$  w punkcie  $(x,y)$  jest przeznaczony do niszczenia przeciwnika.

Po podzieleniu pasa PB na pasy PUB jednostek strony B i uwzględnieniu decyzji szczebla zasadniczego strony A dotyczącej sposobu podziału potencjału "ogniowego"  $i$ -tej jednostki strony A, otrzymujemy warunek:

$$\iint_{P_i^A} \left( \iint_{P_j^B} x_i^A(x, y, t, z, w) dz dw \right) dx dy = X_i^A(j, t)$$

Uwzględnienie dodatkowo procesu zaopatrywania  $i$ -tej jednostki strony A powoduje konieczność wprowadzenia warunku:

$$\sum_{j=1}^{J^B} \int_0^t \left( \iint_{P_j^B} \left( \iint_{P_i^A} x_i^A(x, y, t, z, w) dx dy \right) dz dw \right) dt \leq \bar{\Delta}_i^A(t)$$

W opracowaniu przyjmuje się, że można wyznaczyć analogiczne decyzje jednostek strony B w postaci funkcji:

$$x_j^B: P_j^B \times [0, T] \times P^A \rightarrow R^+ \cup \{0\}$$

opisujących oddziaływanie ogniowe na stronę A.

## 4.5. Model oddziaływania ogniowego

### 4.5.1. Model bez uwzględnienia wsparcia i wzmocnienia

W opracowaniu przyjęto, że model oddziaływania ogniowego jest odpowiednikiem liniowego modelu walki Lanchester'a, uwzględniającym obszarowość rozpatrywanych jednostek stron walczących oraz powiązania charakterystyk walki z charakterystykami terenu, różnorodnością środków walki i innymi elementami.

#### *Oddziaływanie ogniowe między środkami walki*

W pierwszej kolejności opiszemy model oddziaływania ogniowego między środkami walki jednostek stron walczących, który jest efektem podejmowania przez nie decyzji dotyczących ustalania funkcji  $x_i^A$  oraz  $x_j^B$  (dla  $i = \overline{1, J^A}$  oraz  $i = \overline{1, J^B}$  )

Rozpatrzmy przedział czasu  $(t, t+\Delta t)$ , w którym nie są dokonywane uzupełnienia stron walczących i nie występują skutki oddziaływania ogniowego sił wsparcia. Podzielimy każdy z pasów  $P_i^A$  na  $N_i^B$  parami rozłącznych obszarów  $\Delta^n P_i^A$ , których suma jest równa  $P_i^A$ .

Analogicznie każdy z pasów  $P_j^B$  podzielimy na  $N_j^B$  obszarów  $\Delta^m P_j^B$ . Niech  $(x_i^n, y_i^n) \in \Delta^n P_i^A$  oraz  $(x_j^m, y_j^m) \in \Delta^m P_j^B$ .

W obszarze  $\Delta^n P_i^A$  znajduje się  $m_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \|\Delta^n P_i^A\|$  wzorcowych środków walki strony A.

Środki walki strony A z obszaru  $\Delta^n P_i^A$  oddają w przedziale czasu  $(t, t+\Delta t)$  do wzorcowych środków walki strony B liczbę celnych strzałów określonych następującą wielkością przy założeniu działania w terenie wzorcowym bez poruszania się:

$$x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \|\Delta^m P_j^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Po uwzględnieniu faktu, że środki walki strony A znajdują się w terenie rzeczywistym reprezentowanym przez punkt  $(x_i^n, y_i^n)$  oraz że poruszają się w chwili  $t$  z prędkością  $\vec{v}_i^n(t)$ , otrzymamy następujące wyrażenie na liczbę celnych strzałów oddanych z obszaru  $\Delta^n P_i^A$  do wzorcowego przeciwnika znajdującego się w terenie wzorcowym i nie poruszającego się:

$$x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \vec{v}_i^n(t)) \cdot \|\Delta^m P_j^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Niektóre z tych celnych strzałów będą niszczące. Ich liczbę określa wyrażenie uwzględniające wzorcowy potencjał "obronny" strony B:

$$x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \omega_j^B(x_j^m, y_j^m, t) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \vec{v}_i^n(t)) \cdot \|\Delta^m P_j^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Ponieważ środki walki strony A znajdują się w rzeczywistym terenie reprezentowanym przez punkt  $(x_j^m, y_j^m)$  i poruszają się z prędkością  $\vec{v}_j^m(t)$ , więc liczba strzałów niszczących oddanych przez stronę A, bez - uwzględnienia wzajemnego położenia środków, wynosi:

$$x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \omega_j^B(x_j^m, y_j^m, t) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \vec{v}_i^n(t)) \cdot h(x_j^m, y_j^m, \vec{v}_j^m(t)) \cdot \|\Delta^m P_j^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Po uwzględnieniu wzajemnego położenia środków walki otrzymamy poniższe wyrażenie, opisujące przybliżoną liczbę niszczących strzałów oddanych przez stronę A z obszaru  $\Delta^n P_i^A$  do środków walki strony B znajdujących się w obszarze  $\Delta^m P_j^B$ :

$$x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \omega_j^B(x_j^m, y_j^m, t) \cdot Q_i^A(x_i^n, y_i^n, x_j^m, y_j^m) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \bar{v}_i^n(t)) \cdot h(x_j^m, y_j^m, \bar{v}_j^m(t)) \cdot \|\Delta^m P_j^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Ponieważ na środki walki strony B znajdujące się w obszarze  $\Delta^m P_j^B$  mogą oddziaływać ogniowo na wszystkie środki walki strony A, więc straty strony B w tym obszarze w przedziale czasu  $(t, t+\Delta t)$  będą określone równaniem:

$$[m_j^B(x_j^m, y_j^m, t) - m_j^B(x_j^m, y_j^m, t+\Delta t)] \cdot \|\Delta^m P_j^B\| = \\ = \sum_{i=1}^{J^A} \sum_{n=1}^{N_i^A} x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \omega_j^B(x_j^m, y_j^m, t) \cdot Q_i^A(x_i^n, y_i^n, x_j^m, y_j^m) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \bar{v}_i^n(t)) \cdot h(x_j^m, y_j^m, \bar{v}_j^m(t)) \cdot \|\Delta^m P_j^B\| \cdot \|\Delta^n P_i^A\| \cdot \Delta t$$

Dzieląc obie strony powyższego równania przez  $\|\Delta^m P_j^B\| \cdot \Delta t$  i przechodząc do granicy przy  $\Delta t \rightarrow 0$  otrzymamy równanie różniczkowe w postaci:

$$\frac{\partial m_j^B(x_j^m, y_j^m, t)}{\partial t} = - \sum_{i=1}^{J^A} \sum_{n=1}^{N_i^A} x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x_j^m, y_j^m) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \omega_j^B(x_j^m, y_j^m, t) \cdot Q_i^A(x_i^n, y_i^n, x_j^m, y_j^m) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \bar{v}_i^n(t)) \cdot h(x_j^m, y_j^m, \bar{v}_j^m(t)) \cdot \|\Delta^n P_i^A\|$$

Przyjmijmy, że dla  $N_j^B \rightarrow \infty$  zachodzi  $(x_j^m, y_j^m) \rightarrow (x, y)$ . Wtedy powyższe równanie przyjmie postać:

$$\frac{\partial m_j^B(x, y, t)}{\partial t} = - \sum_{i=1}^{J^A} \sum_{n=1}^{N_i^A} x_i^A(x_i^n, y_i^n, t, x, y) \cdot \lambda_i^A(x_i^n, y_i^n, t) \cdot \omega_j^B(x, y, t) \cdot Q_i^A(x_i^n, y_i^n, x, y) \cdot g(x_i^n, y_i^n, \bar{v}_i^n(t)) \cdot h(x, y, (v_x(t), v_y(t))) \cdot \|\Delta^n P_i^A\|$$

gdzie  $(v_x(t), v_y(t))$  jest prędkością poruszania się punktu  $(x, y) \in P_j^B$ .

Po obliczeniu granic prawej strony równości przy  $N_i^A \rightarrow \infty$  otrzymamy ostatecznie:

$$\frac{\partial m_j^B(x, y, t)}{\partial t} = - \omega_j^B(x, y, t) \cdot h(x, y, (v_x(t), v_y(t))) \cdot \sum_{i=1}^{J^A} \iint_{P_i^A} x_i^A(z, w, t, x, y) \cdot \lambda_i^A(z, w, t) \cdot$$

$$Q_i^A(z, w, x, y) \cdot g(z, w, (v_x(t), v_y(t))) \text{ dwdz.}$$

Ponieważ potencjały "ogniowy" oraz "obronny" są wyznaczalne przy znajomości potencjału "manewrowego", więc powyższe równanie możemy zapisać w postaci:

$$\frac{\partial m_j^B(x, y, t)}{\partial t} = - \Omega_j^B(m_j^B(x, y, t)) \cdot h(x, y, (v_x(t), v_y(t))) \cdot \sum_{i=1}^{J^A} \iint_{P_i^A} x_i^A(z, w, t, x, y) \cdot \Lambda_i^A(m_j^A(z, w, t)) \cdot Q_i^A(z, w, x, y) \cdot g(z, w, (v_x(t), v_y(t))) \text{ dwdz.}$$

Przeprowadzając analogiczne rozważania dla procesu niszczenia strony A przez stronę B otrzymamy następujące równanie różniczkowo-całkowe:

$$\frac{\partial m_i^A(x, y, t)}{\partial t} = - \Omega_i^A(m_i^A(x, y, t)) \cdot h(x, y, (v_x(t), v_y(t))) \cdot \sum_{j=1}^{J^B} \iint_{P_j^B} x_j^B(z, w, t, x, y) \cdot \Lambda_j^B(m_i^B(z, w, t)) \cdot Q_j^B(z, w, x, y) \cdot g(z, w, (v_x(t), v_y(t))) \text{ dwdz.}$$

#### 4.5.2. Model oddziaływania ogniowego sił wsparcia i wzmocnienia

##### *Podział sił wsparcia i wzmocnienia*

W działaniach militarnych, poza jednostkami wchodzącymi normatywnie w skład większych związków, używa się dodatkowych pododdziałów i oddziałów stanowiących środki wsparcia i wzmocnienia. Przydziela się je do związku na okres trwania planowanej operacji wojennej. Często środki wsparcia i wzmocnienia mają identyczny charakter, jak jednostki istniejące już w strukturach związku. Mogą to być na przykład: kompania czołgów, pododdział broni przeciwpancernej itp. Zwiększają one zazwyczaj siłę oddziaływania ogniowego nie zmieniając w istotny sposób podziału związku na jednostki składowe. Niektóre środki wsparcia i wzmocnienia tego typu w sposób naturalny wchodzą w skład istniejących już jednostek. Zmieniają wtedy jedynie pewne charakterystyki opisujące jednostki: siłę ogniowego oddziaływania, manewrowość itd. Środki wsparcia i wzmocnienia funkcjonować mogą jednak w walce również jako odrębne jednostki w strukturze związku. Powoduje to, że na czas operacji wojennej struktura związku zmienia się.

Uwzględnić należy dodatkowo fakt, że istnieją środki wsparcia i wzmocnienia, które przydzielone do związku działają poza jego ugrupowaniem. Ponadto, nie muszą one podlegać poleceniom dowódcy związku w przeciągu całego okresu prowadzenia operacji wojennej. Nie zawsze też można je opisać przy pomocy tych samych charakterystyk, co inne, typowe w związku jednostki. Przykładami środków wsparcia i wzmocnienia tego typu mogą być: artyleria, śmigłowce, samoloty szturmowe, oddziały desantowe itd. Działają one poza ugrupowa-

niem związku i mogą być użyte w celu wsparcia jego walki. Często ich udział w walce związku jest ograniczony. Możliwym jest przydział na przykład: trzech lotów bojowych pary samolotów szturmowych, jeden atak czterech śmigłowców na określone pozycje przeciwnika, kilka salw baterii haubic, pluton wojsk desantowych w celu obozwładnienia sztabu wojsk przeciwnika itd.

Powyższe rozważania, chociaż pobieżne i nie oddające całej głębi taktyczno-operacyjnych oraz logistycznych problemów użycia środków wsparcia i wzmocnienia, pozwalają określić pewien podział tych środków na klasy. Podział ten dokonany jest z punktu widzenia samodzielności działań bojowych prowadzonych przez środki wsparcia i wzmocnienia w stosunku do działań bojowych związku. Można przedstawić go w postaci klasyfikacji zamieszczonej poniżej.

#### **środki wsparcia i wzmocnienia (śww)**

- śww. działające w ugrupowaniu związku
  - śww. będące w składzie istniejących już jednostek związku
  - śww. działające poza ugrupowaniem związku
- śww. działające poza ugrupowaniem związku

Planujemy użycie środków wsparcia i wzmocnienia po stronie A. Załóżmy, że zbiór  $W$  jest zbiorem numerów środków wsparcia i wzmocnienia:

$$W = \{1, 2, 3, \dots, w, \dots, W\}$$

Stąd liczba środków wsparcia i wzmocnienia, które chcemy użyć w walce, wynosi  $W$ . Przypomnijmy, że odpowiednikami potencjału "manewrowego", potencjału "ogniowego" i potencjału "obronnego" są w modelu matematycznym walki funkcje:

$$m_i^A(x, y, t), \lambda_i^A(x, y, t), \omega_i^A(x, y, t), \quad i = \overline{1, J^A}$$

Odpowiedniki tych potencjałów określone są również dla środków wzmocnienia. Przyjmijmy dalej, że środki wsparcia i wzmocnienia nazywać będziemy krótko środkami wzmocnienia.

Niech zatem

$\eta_i^A(x, y, t)$  - rozkład potencjału "manewrowego" w-tego środka wzmocnienia strony A w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t$ ,

$\delta_i^A(x, y, t)$  - rozkład potencjału "ogniowego" w-tego środka wzmocnienia strony A w terenie jednorodnym z wzorcowym przeciwnikiem w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t$ ,

$\nu_i^A(x, y, t)$  - rozkład potencjału "ogniowego" w-tego środka wzmocnienia strony A w terenie jednorodnym z wzorcowym przeciwnikiem w punkcie  $(x, y) \in P^A$  w chwili  $t$ ,

$w = \overline{1, W}, t \in (0, T], T$  - tzw. horyzont czasu operacji wojennej.

Wcześniej środki wzmocnienia podzielone zostały na trzy grupy. W opisie matematycznym poszczególnych środków podział ten powinien być uwzględniony. Podzielmy więc zbiór  $W$  na trzy podzbiory wzajemnie rozłączne:

$$W = W^1 \cup W^2 \cup W^3, W^1 \cap W^2 = W^1 \cap W^3 = W^2 \cap W^3 = \emptyset,$$

gdzie

$W^1$  - jest zbiorem numerów środków wzmocnienia działających w ugrupowaniu związku w ramach jednej z jednostek strony A,

$W^2$  - jest zbiorem numerów środków wzmocnienia działających samodzielnie w ugrupowaniu związku, jako oddzielna jednostka,

$W^3$  - jest zbiorem numerów środków wzmocnienia działających poza ugrupowaniem związku.

Przyjmijmy, że licznosci zbiorów  $W^1, W^2, W^3$  są następujące

$$\overline{W^1} = W^1, \overline{W^2} = W^2, \overline{W^3} = W^3$$

Założmy też, nie ma to wpływu na ogólność rozważań, że środki „wzmocnienia są ponumerowane w następujący sposób:

$$W^1 = \{1, 2, \dots, W^1\}, W^2 = \{W^1 + 1, \dots, W^1 + W^2\},$$

$$W^3 = \{W^1 + W^2 + 1, \dots, W^1 + W^2 + W^3\}.$$

Omówimy obecnie sposób opisu funkcjonowania środków wzmocnienia wszystkich trzech klas odpowiadających poszczególnym zbiorom  $W^1, W^2, W^3$ .

#### *Działanie środków wzmocnienia w ramach jednostek*

Środki wzmocnienia tej klasy działając w ramach jednostek wyodrębnionych normalnie w związku strony A zmieniają jedynie wartości potencjałów opisujących te jednostki. Istotnym staje się zatem przede wszystkim przydział środków wzmocnienia do jednostek strony A. Przydział środków wzmocnienia o numerach ze zbioru  $W^1$  opisać można binarną macierzą

$$C = [c_{wj}]_{W^1 \times J^A}$$

gdzie

$$c_{wj} = \begin{cases} 1 & \text{Jeśli } w\text{-ty środek wzmocnienia ze zbioru } W^1 \text{ przydzielony został do składu} \\ & \text{jednostki } j\text{-tej strony } A \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Elementy macierzy C

$$c_{wj} \in \{0,1\}, \quad w = \overline{1, J^A}, \quad j = \overline{1, J^A}$$

spełniać muszą warunki

$$\sum_{j=1}^{J^A} c_{wj} = 1, \quad w = \overline{1, W^1}$$

Warunek ostatni powoduje, że każdy środek wzmocnienia musi być przydzielony do którejkolwiek jednostki, przy czym tylko do jednej z nich.

Z punktu widzenia włączenia środków wzmocnienia do jednostek strony A zmieniają się potencjały w następujący sposób:

$$m_i^A(x, y, t) := m_i^A(x, y, t) + \sum_{w=1}^{W^1} \eta_w^A(x, y, t) \cdot c_{wj}$$

$$\lambda_i^A(x, y, t) := \lambda_i^A(x, y, t) + \sum_{w=1}^{W^1} \delta_w^A(x, y, t) \cdot c_{wj}$$

$$\omega_i^A(x, y, t) := \omega_i^A(x, y, t) + \sum_{w=1}^{W^1} \nu_w^A(x, y, t) \cdot c_{wj}$$

$$j = \overline{1, J^A}$$

gdzie symbol " := " jest działaniem zmiany wartości co oznacza, że zmienna po lewej stronie symbolu osiąga wartość aktualną po wykonaniu działania po prawej stronie symbolu.

Z zależności tych wynika, że w modelu matematycznym działań bojowych wystarczy w chwilach wprowadzenia środków wzmocnienia rozważanego typu do walki zmodyfikować potencjały uwzględniając powyższe działania. Następnie należy postępować tak, jakby jednostki strony A zmieniły odtąd jedynie swe charakterystyki.

### *Działanie samodzielnych jednostek wzmocnienia*

Środki wzmocnienia tej klasy działają w strukturze ugrupowania strony A jako samodzielne jednostki. Zmianie podlega zatem struktura strony A. Założyliśmy, że bez środków wzmocnienia liczba jednostek strony A wynosi  $J^A$ . Uwzględniając środki wzmocnienia działające jako samodzielne jednostki musimy przyjąć, że liczba ta zwiększy się. Po przydziale środków wzmocnienia tej klasy liczba jednostek wynosić będzie  $J^A$  i spełniona jest równość

$$J^A = J^A + W^2.$$

W celu standaryzacji oznaczeń wygodnym jest wprowadzenie dodatkowych funkcji potencjałów postaci

$$m_{J^A+W}^A(x, y, t) = \eta_{W^1+W}^A(x, y, t),$$

$$\lambda_{J^A+W}^A(x, y, t) = \delta_{W^1+W}^A(x, y, t),$$

$$\omega_{J^A+W}^A(x, y, t) = \nu_{W^1+W}^A(x, y, t),$$

$$W = \overline{1, W^2}$$

Zatem wprowadzenie środków wzmocnienia tej klasy nie zmienia również metody postępowania, jaka byłaby przyjęta bez różnicowania jednostek strony A na normatywne i wzmocnienia.

### *Działanie środków wzmocnienia poza ugrupowaniem*

W związku z tym, że środki wzmocnienia tej klasy działają poza ugrupowaniem jednostek strony A, to rozkład potencjału "manewrowego" przestaje nas interesować i można bez straty ogólności rozważać przyjąć, że

$$\eta_{W^1+W^2+W}^A(x, y, t) = 0, \quad w = \overline{1, W^3}$$

Ponadto, cecha obronności tych środków wychodzi również poza rozważania na tym szczeblu decyzyjnym, stąd można założyć, że

$$\nu_{W^1+W^2+W}^A(x, y, t) = 0, \quad w = \overline{1, W^3}$$

Środki wzmocnienia tej klasy interesują nas zatem jedynie z punktu widzenia ich potencjału "ogniowego" przydzielonego w pewnym zakresie do wspomagania działań jednostek strony A.

Decyzje o użyciu środków wzmocnienia zapadać mogą w ściśle określonych chwilach. Są to momenty, w których strona A może zmienić swój plan działania po obserwacji działań przeciwnika. Zwykle zmian takich nie jest wiele. Przyjęto wcześniej, że maksymalnie może być ich  $N^A$ . Zbiór numerów chwil

$$t_1^A, t_2^A, \dots, t_n^A, \dots, t_{N^A}^A \in [0, T)$$

w których podjęte mogą być decyzje ma więc postać  $L = \{1, 2, 3, \dots, n, \dots, N^A\}$ .

Chwila  $t_n^A$  jest momentem podjęcia pewnej decyzji przed rozpoczęciem dalszych działań. Zatem możemy mieć do czynienia z  $N^A$  decyzjami typu

$$y^n = [y_{wij}^n]_{W_n^3 \times J_n^B \times (N-n+1)}$$

gdzie

$$y_{wij}^n = \begin{cases} 1 & \text{1 gdy } w - \text{ty środek wzmocnienia ma niszczyć } i - \text{ta jednostkę przeciwnika w etapie } (n + j - 1) - \text{ tym} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$W_n^3, J_n^B$  - liczby istniejących jeszcze jednostek wzmocnienia i jednostek strony B tzn. że gdy we wcześniejszych etapach wykorzystano już limit pewnych środków wzmocnienia lub zniszczono niektóre jednostki przeciwnika, to liczby jednostek działających jeszcze w  $n$ -tym etapie decyzyjnym zmniejszają się z  $W^3$  do  $W_n^3$ , a  $J^B$  do  $J_n^B$   $n=2, N^A$ .

Przyjmując powyższy sposób opisu decyzji użycia środków wzmocnienia działających poza ugrupowaniem należy zmienić interpretację elementów zbioru  $W^3$ . Każde wielokrotne użycie dowolnego środka wzmocnienia tej grupy uważać będziemy jako użycie różnych środków w każdym z kolejnych przypadków. Jeśli na przykład dysponujemy dwoma salwami baterii haubic, to traktujemy taką sytuację jakoby mieliśmy dwa inne środki wzmocnienia.

## Zakończenie

W opracowaniu, będącym syntezą realizacji obu etapów pracy naukowo – badawczej pt. „SYMULACYJNY MODEL WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM” skoncentrowano uwagę na **syntezie koncepcji symulacyjnego modelu walki**.

Przedstawione opracowanie obejmuje w zasadzie dwie części (będące w relacji implikacji).

Pierwsza – to synteza aktualnej wiedzy naukowej tak w aspekcie **praktycznym (użytkowym)**, jak i **teoretycznym**. Dotyczy symulacyjnych modeli walki funkcjonujących w SZ NATO. Przedstawionych zostało dziewięć różnych modeli, które zaprezentowano (jeśli to było możliwe) z punktu widzenia trzech kryteriów: koncepcji symulacji, zastosowanego matematycznego modelu walki oraz uwzględnienia (operacyjnych i środowiskowych) warunków walki. Następnie dokonano syntezy realnych modeli walki, wyodrębniając główne procesy walki odwzorowywane w systemach oraz strukturę i „typ” modeli cząstkowych, tworzących symulacyjny system walki. Po zrealizowaniu tych przedsięwzięć możliwe było sprecyzowanie koncepcji symulacyjnego modelu walki. Przedstawiono zatem założenia na system oraz przyjęte ograniczenia modelu symulacyjnego walki w stosunku do realnego systemu walki. W aspekcie teoretycznym przedstawione zostały podstawowe klasy modeli formalnych walki. Podstawą (prawie) wszystkich jest model Lanchestera. Założenia przyjęte przy formowaniu modelu oraz redukcjonizm postrzegania oryginału uświadamiają trudności procesu odwzorowania oryginału do postaci modelu.

Druga – to konceptualizacja matematycznego modelu walki wynikająca (m.in.) z syntezy części pierwszej. Przedstawiona propozycja dotyczy formalizacji: opisu stron walki i środków walki oraz określenia ich potencjałów, a także opisu terenu i decyzji stron. W postaci formalnej przedstawiony został model oddziaływania ogniowego (bez uwzględnienia wsparcia i wzmocnienia oraz z uwzględnieniem).

Problem podjęty przez autorów do badania jest z jednej strony – mocno złożony i interdyscyplinarny, a z drugiej strony – jego rozwiązanie niezwykle pożądane przez różne środowiska. Dlatego w każdym państwie, w wielu środowiskach powoływane są mocno liczne zespoły do jego rozwiązania (z implementacją włącznie).

## Bibliografia

1. ABS2000 – System and Models Description – Materiał informacyjny firmy RAFAEL
2. „Analiza i projektowanie strukturalne przy użyciu systemu DECdesign v.2.0” - materiały do kursu” ZBW SSI Wydział Cybernetyki, WAT Warszawa.
3. Barczak A., Komputerowe gry wojenne, Bellona, Warszawa 1996;
4. Barton R. F. „Wprowadzenie do symulacji i gier” Warszawa 1974.
5. Bojarski W. „Podstawy analizy i inżynierii systemów” Warszawa 1984.
6. Chojnacki A. „Modelowanie matematyczne” WAT Warszawa 1986.
7. Chojnacki, A. + zespół, Algorytmizacja pracy sztabów w zakresie planowania działań bojowych SZ RP.
8. Czerniak J. „Informacja i zarządzanie” Warszawa 1978.
9. Evans G. W, „Symulacja na maszynach cyfrowych”, WNT, Warszawa 1973.
10. Filar W, „Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki” Wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN, 1979.
11. Fishman G. S, „Symulacja komputerowa – pojęcia i metody”, PWE, Warszawa 1981.
12. Gutenbaum J. „Modelowanie matematyczne systemów” PWN Warszawa-Łódź 1987.
13. JTLS (2.4), Version Description Document, January,2002;
14. Korzan B. „Elementy teorii grafów i sieci metody i zastosowania” WNT Warszawa 1978.
15. Kotarbiński T, „Traktat o dobrej robocie” Ossolineum, Warszawa 1969.
16. Kulczycki R., Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. „Model wojny SIEĆ-1”, AON, Warszawa 1997.
17. Mrowiec T., Ratajczak M., Wieleba R., „Prognozowanie skutków podejmowanych decyzji z wykorzystaniem metody modelowania symulacyjnego, AON, Warszawa 1992.
18. Overview of Trainer Architectures for Simulation Systems GUPPIS, SimoF, HORUS
19. Praca zbiorowa „Modelowanie walki zbrojnej „SKORPION” , AON, Warszawa 1994
20. Rajski J, Tyszer J., Modelowanie i symulacja cyfrowa, Poznań 1986.
21. Ratajczak, Urbanek, Wieleba, Wocial – Symulacyjny model walki na szczeblu taktycznym- Ogólna koncepcja, Warszawa,2000
22. Sienkiewicz P. „Inżynieria systemów kierowania” Warszawa 1988
23. Sienkiewicz P. „Podstawy teorii systemów” Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 1993.
24. Sienkiewicz P. „Systemy kierowania” Warszawa 1989.

25. Sienkiewicz P, „Teoria efektywności systemów kierowania – Tom I – Wstęp do systemologii – Rozprawa habilitacyjna” ASG WP, Warszawa 1979.
26. System komputerowej symulacji pola walki KORA/OA – Materiał informacyjny
27. System symulacji działań korpusu (CBS) - Materiały Informacyjne
28. Tomaszewski A., „Podstawowe założenia i ogólna koncepcja komputerowej gry wojennej” AON, 1994;
29. Tomaszewski A., Funkcje , zadania i podstawowe założenia organizacyjne ośrodka symulacji działań wojsk, AON, Warszawa 2000;
30. BBS- [Http://www.wainwight.army.mil./bsc/bbs01.html](http://www.wainwight.army.mil./bsc/bbs01.html)

