



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM INFORMATYKI

**SYMULACYJNY MODEL WALKI
NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM**

Ogólna koncepcja symulacyjnego modelu walki

61053

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej

~~S74582~~



05-004582-001-0

WARSZAWA

2000



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM INFORMATYKI



SYMULACYJNY MODEL WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Ogólna koncepcja symulacyjnego modelu walki

płk dr inż. Maciej RATAJCZAK

płk dr inż. Marian URBANEK

płk dr inż. Ryszard WIELEBA

ppłk dr inż. Janusz WOCIAL



MODELOWANIE-2

7.2.2.0

WARSZAWA

2000

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. Marian URBANEK

płk dr inż. Ryszard WIELEBA

ppłk dr inż. Janusz WOCIAL

Poszczególni członkowie zespołu opracowali

- płk dr inż. Maciej RATAJCZAK Rozdział 4.
- płk dr inż. Marian URBANEK Rozdział 1.
- płk dr inż. Ryszard WIELEBA Rozdział 2 oraz merytoryczne opracowanie pracy
- ppłk dr inż. Janusz WOCIAL Rozdział 3, Wprowadzenie i Zakończenie

Temat opracowany został zgodnie z „Planem prac naukowych na rok 2000 (poz. 7.2.2.0 – kryptonim **MODELOWANIE-2**).

Opracowanie stanowi pierwszy 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 problemów 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 i penetracji.

Przedstawiane opracowanie zawiera syntezę problemów, które autorzy poddali analizie problemowej w aspekcie maksymalizacji adekwatności konceptualizowanego symulacyjnego modelu walki szczebla taktycznego do rzeczywistych procesów walki. Wnioski dotyczą istoty modelu symulacyjnego w ścisłym znaczeniu tego słowa (autorzy uważają, że pojęcie modelu symulacyjnego jest jeszcze różnie rozumiana przez różne środowiska) oraz w znaczeniu szerszym – jako modelu komputerowego, odwzorowującego procesy walki (projektowane przez różne środowiska specjalistów w świecie). Jądrzem modelu symulacyjnego jest jednak matematyczny model walki. Dlatego niezbędna stała się głębsza refleksja tego problemu i dokonanie jej syntezy. W efekcie możliwa stała się konceptualizacja ogólnego ujęcia modelu symulacyjnego walki na szczeblu taktycznym. Przedstawione zostały główne konstatacje (założenia i ograniczenia, dekompozycja strukturalna i funkcjonalna, cele bliższe i dalsze, itp.) koncepcji jaką autorzy proponują w celu rozwiązania problemu badawczego.

Opracowanie zawiera wprowadzenie, cztery rozdziały merytoryczne, zakończenie oraz bibliografię.

Rozdziały merytoryczne przedstawiają:

Istotę modelu symulacyjnego;

Prezentację symulacyjnych modeli walki w systemach wspomagania ćwiczeń;

Matematyczne modele walki stosowane w symulacyjnych modelach;

Ogólna koncepcja symulacyjnego modelu walki na szczeblu taktycznym.

Spis treści

SPIS TREŚCI	5
WPROWADZENIE	6
1. ISTOTA MODELU SYMULACYJNEGO	8
1.1. DEFINICJA MODELU	8
1.2. OPIS MORFOLOGICZNY (STRUKTURALNY)	11
1.3. OPIS FUNKCJONALNY	12
1.4. SYMULACJA I MODELOWANIE SYMULACYJNE	15
2. SYMULACYJNE MODELE WALKI W SYSTEMACH WSPOMAGANIA ĆWICZEŃ	20
2.1. MODEL-5	20
2.2. CBS	29
2.3. CORA	44
2.4. SIMOF	51
2.5. ABS2000	53
2.6. SYNTEZA REALNYCH MODELI WALKI	64
3. MATEMATYCZNE MODELE WALKI	67
3.1. MODEL ANALITYCZNY	68
3.2. MODELE WALKI LANCHESTERA	72
4. OGÓLNA KONCEPCJA SYMULACYJNEGO MODELU WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM	81
4.1. MIEJSCE I ROLA MODELU WALKI W SYSTEMIE INFORMATYCZNEGO WSPOMAGANIA ĆWICZEŃ DOWÓDCZO - SZTABOWYCH	81
4.2. ZAŁOŻENIA I OGRANICZENIA PRZYJĘTE DLA OPRACOWANIA KONCEPCJI MODELU SYMULACYJNEGO PROCESU WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM.	83
4.3. KONCEPCJA MODELU WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM	87
ZAKOŃCZENIE	98
BIBLIOGRAFIA	100

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. Również armia niemiecka stosuje własne rozwiązania. W armiach większości pozostałych państw wykorzystywane są różne systemy, najczęściej amerykańskie.

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 stanowią już zamknięcie 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 pola 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 koneksji, przychylności czy sympatii oceniającego.

Zakup systemu pociąga za sobą, oprócz oczywistych wydatków, adaptacji systemu (bazy danych o wojskach, parametry sprzętu, mapy i sposób komunikacji użytkownika z systemem) uzależnienie się od sprzedającego. Za każdą nową wersję systemu trzeba płacić. Nigdy nie ma wglądu do logiki oprogramowania, do opisu modeli matematycznych zaimplementowanych w systemie. Najczęściej to co się dzieje w systemie jest dla użytkownika przysłowiową „czarną skrzynką”. Dlatego też prowadzenie badań i prac projektowych nad własnymi modelami symulacji walki jest uzasadnione i tak istotne.

Przedstawione opracowanie jest efektem dotychczasowych doświadczeń i badań autorów w problemie konceptualizacji, projektowania i implementacji komputerowego systemu symulacji walki zbrojnej. Stanowi kontynuację starań o powstanie narodowej wersji systemu symulacji walki na szczeblu taktycznym.

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

Rozdział pierwszy dotyczy istoty modelu symulacyjnego. W rozdziale drugim przedstawione zostały symulacyjne modele walki w systemach wspomagania ćwiczeń. Rozdział trzeci poświęcony został matematycznym modelom walki stosowanym w symulacyjnych modelach. Rozdział czwarty zawiera ogólną koncepcję symulacyjnego modelu walki na szczeblu taktycznym.

1. Istota modelu symulacyjnego

Wzrost złożoności struktury organizacyjnej systemów powoduje, że badanie ich funkcjonowania staje się coraz trudniejsze. Przyczyną tego stanu rzeczy jest złożony charakter wzajemnych powiązań występujący między poszczególnymi elementami badanego systemu. Są to systemy wieloelementowe obejmujące ludzi oraz różnorodną technikę.

Nierzadko systemy nie mogą być w pełni sprawdzone w warunkach rzeczywistych. Przykładem takich systemów są systemy wojskowe. Ponadto do charakterystycznych właściwości badań systemów wojskowych zaliczyć należy konieczność uwzględniania aktywnego przeciwdziałania przeciwnika. Jest to problem niezwykle złożony, bowiem każda z walczących stron zawsze dąży do ukrycia informacji przed przeciwnikiem, bądź dezinformowania. Procesy zachodzące na polu walki mają charakter procesów losowych, a na skutki podejmowanych decyzji wywierają wpływ czynniki niezależne od decydenta, w tym także elementy kontrolowane i sterowane przez przeciwnika. Wszystko to powoduje, że tradycyjne metody badania systemów są we współczesnych warunkach mało efektywne i nie wystarczające. Dlatego też dążenie do badania takich systemów metodami analizy systemowej (modelowanie, symulacja) jest oczywiste, gdyż koszty budowy modelu są niewielkie, a możliwość powtórzenia eksperymentu stanowi poważny atut.

1.1. Definicja modelu

Modelowanie jest procesem konstruowania obrazu danego fragmentu rzeczywistości, zwanego oryginałem, wyrażonym w przyjętym języku (kodzie) za pomocą określonej metody badawczej i zgodnie z wiedzą przedmiotu[21].

W celu odwzorowania niezbędnych aspektów danego obiektu, kilku różnych obserwatorów może rozważać ten sam obiekt z różnych punktów widzenia ponieważ każdy z nich rozwiązuje własny problem we własnym języku [7]. Mając na uwadze wpływ intuicji badacza na kształt modelu, znajomość naturalnych właściwości przedmiotu badań, a co za tym idzie wpływ arbitralny dokonany przez badacza, można mówić o pewnych orientacjach w modelowaniu, a mianowicie [21]:

- *orientacji modelowej*, polegającej na preferowaniu kryteriów wewnętrznej poprawności logicznej modelu, przy czym zagadnienie adekwatności modelu schodzi na plan dalszy;

- *orientacji przedmiotowej*, polegającej na preferowaniu kryteriów zgodności modelu z mniej lub bardziej arbitralnie wybranym fragmentem rzeczywistości, co niekiedy odbywa się kosztem poprawności logicznej modelu;
- *orientacji podmiotowej*, polegającej na dostosowaniu zadania do możliwości i kwalifikacji podmiotu.

Z modelowaniem nierozłącznie związane jest pojęcie *model*. W literaturze - podobnie jak w przypadku pojęcia *system* – przytacza się wiele definicji tego pojęcia. Poniżej przedstawiono niektóre z nich:

„Model jest konkretnym interpretacyjnym wyrazem teorii jednej lub kilku hipotez” [4].

„Model oznacza uproszczone odwzorowanie, często połączone z pewną schematyzacją lub stylizacją” [5].

„Model jest rezultatem modelowania, tzn. obrazem danego przedmiotu badań, wyrażającym cel badań i wiedzę przedmiotu, przedstawionym w przyjętym języku (kodzie)” [21].

W analizie systemowej modelowanie jako narzędzie badawcze definiowane jest następująco [19], [18]:

„Modelowanie systemowe oznacza całokształt przedsięwzięć poznawczych, związanych z tworzeniem modeli i obiektów, których znajomość cech skłania do traktowania go jako systemu”.

Zaś „model systemu jest ilościową i jakościową reprezentacją statycznej i dynamicznej struktury systemu; pozwala przedstawić wpływ czynników istotnych z punktu widzenia prowadzonych badań na zachowanie się systemu”.

W literaturze można spotkać różnorodne klasyfikacje modeli, tworzone głównie w celu przybliżenia potencjalnym użytkownikom możliwości ich racjonalnego wykorzystania w praktyce. Na przykład w celu dokonania klasyfikacji podstawowych modeli stosowanych w badaniach systemowych organizacji, prof. P. Sienkiewicz przyjął trzy podstawowe kryteria podziału [19]:

Ze względu na cel poznawczy (rezultat modelowania), wyróżnia się:

- *modele ocenowe*, których celem jest uzyskanie ocen, czyli wypowiedzi wyrażających aprobatę lub dezaprobatę dla stanu (przeszłego, bieżącego, przyszłego) systemu;
- *modele decyzyjne*, których celem jest uzyskanie określonych decyzji, niezbędnych do zapewnienia stanu systemu pożądanego z uwagi na przyjęte kryterium;

- **modele desygnujące** (*wyjaśniające*), których celem jest uzyskanie pożądanego wyjaśnienia istoty cech (zjawisk) systemu.

Ze względu na formę przekazu (język modelowania), rozróżnia się:

- **modele opisowe** wyrażane w języku naturalnym;
- **modele formalne** wyrażane w języku logiki, głównie logiki matematycznej;
- **modele matematyczne** wyrażane w języku matematyki (np. teorii mnogości, algebry, analizy funkcjonalnej, probabilistyki).

Trzecie kryterium podziału, związane z przyjmowanym *aspektem badań systemowych*, pozwala na opisanie:

- **morfologii** (struktury, budowy) systemu;
- **funkcjonowania** (zachowania, działania) systemu;
- **rozwoju** (ewolucji, przemian) systemu.

Opisy wynikające z przyjmowanego aspektu badań wyrażają także postępujący stopień poznania systemu:

- pierwszy stopień wiąże się z poznaniem budowy systemu (jego elementów i powiązań między nimi);
- drugi - z poznaniem funkcjonowania systemu, a więc realizowanych w nim procesów;
- trzeci - z poznaniem praw rozwoju systemu, czyli określeniem kierunków przemian jego struktur, funkcji, procesów, itp.;
- „zerowy” poziom poznania systemu stanowi opis parametryczny, polegający na specyfikacji cech systemowych.

Należy podkreślić, że często ten sam system może być reprezentowany przez kilka modeli (budowanych ze względu na aspekt badań czy preferencje badacza), które (różniąc się między sobą) mogą przedstawiać system w zasadniczo różny sposób. Modele tego samego systemu mogą różnić się w jego przedstawianiu pod wieloma względami. Na przykład jeden model może reprezentować daną klasę elementów systemu, podczas gdy drugi może w ogóle nie zawierać bezpośredniej reprezentacji elementów tej klasy. Jeden model może być fizycznym duplikatem systemu, podczas gdy drugi, tak jak ma to miejsce w modelach używanych

w symulacji komputerowej, może być reprezentacją ściśle symboliczną. Z pewnością o każdym modelu systemu rzeczywistego można stwierdzić, że nie przedstawia on wszystkich aspektów systemu, tzn. istnieją charakterystyki systemu rzeczywistego, które są pomijane, skracane, zmieniane lub w inny sposób podawane w przybliżeniu przez model. Jeden model jest często lepszą reprezentacją systemu niż inny, ale każdy, bez względu na stopień doskonałości: pod względem zawartości, kompletności, szczegółowości itp. może przedstawić tylko część systemu rzeczywistego. Natomiast, system hipotetyczny można uczynić takim, aby miał pożądane charakterystyki i właściwości. Można więc sobie wyobrazić, iż model takiego systemu może przedstawiać wszystkie jego aspekty. W tym przypadku nie ma tak wielkiej potrzeby (jak w systemie rzeczywistym), aby rozróżnić model od modelowanego systemu jednak różnica nadal istnieje i ze względu na przejrzystość i dokładność należy podkreślać i utrzymywać tę różnicę.

Wydaje się, że niezależnie od tego czy przedmiotem modelowania będzie system rzeczywisty czy też system hipotetyczny (pojęciowy) musi być przeprowadzona (uwzględniająca aspekt badań) częściowa identyfikacja systemu¹ ograniczona do czynności wyodrębnienia systemu z otoczenia i specyfikacji cech systemowych, lub pełna, poszerzona o opisy: struktury, funkcji i rozwoju systemu.

1.2. Opis morfologiczny (strukturalny)

Podstawowe aspekty każdego systemu to: skład, otoczenie i struktura, czyli sieć relacji występujących pomiędzy poszczególnymi elementami składu systemu oraz pomiędzy elementami systemu i jego otoczeniem. W modelu struktury systemu główny nacisk kładzie się na opis organizacji wewnętrznej. Po określeniu granic² systemu czyli zadecydowaniu co należy do otoczenia, a co do wnętrza systemu można wyodrębnić jego elementy składowe oraz ich wzajemne powiązania nazywane sprzężeniami. Strukturę systemu S przedstawia się jako parę [22]:

$$S = \langle M, R \rangle$$

¹ Przydatną notacją do opisu identyfikowanego systemu może być koncepcja wykorzystana w pakiecie *DECdesign* do analizy i projektowania strukturalnego systemów informatycznych [1]. Do identyfikacji wystarczającym będzie zastosowanie diagramu kontekstu (*Context Diagram*) oraz diagramów przepływu danych (*Data Flow Diagrams*). Zasadniczym elementem opisu jest przepływ danych pomiędzy procesami zgodnie z zasadą:

$$\text{dana} \Rightarrow \text{proces} \Rightarrow \text{dana.}$$

Przepływ danych pomiędzy procesami odbywa się po skierowanych gałęziach. Dane przechowywane są w magazynach danych. Symbolem graficznym procesu jest okrąg, zaś magazyn danych symbolizują dwie poziome linie. Gałęzie mogą być uzupełniane opisem informującym jaka dana jest przekazywana po tej drodze.

² Może być tak, że z jednego punktu widzenia dany element może być uważany za część systemu, a z innego punktu widzenia za część otoczenia systemu.

w której: $M = \{m_i : i \in I = \{1, 2, \dots, I\}\}$ oznacza skończony zbiór elementów o liczności I ,

$R = \{R_j : j \in J = \{1, 2, \dots, L\}\}$ oznacza skończoną L – elementową klasę relacji R_j określonych na zbiorze M .

Dla każdego systemu określone jest jego otoczenie systemowe

$$\underline{S} = \langle \underline{M}, \underline{R} \rangle$$

takie że: $\underline{M} \cap \underline{M} = \emptyset$, czyli zostały jednoznacznie określone granice systemu.

Części systemu nazywa się jego elementami. Elementy nie muszą być jednak obiektami materialnymi. Na przykład zestaw reguł rządzących funkcjonowaniem systemu jest takim samym elementem składowym systemu jak sprzęt.

Dowolny element m_i może być opisany przez N_i – elementowy zbiór C_i cech³:

$$C_i = \{c_k : k \in N_i; c_k \in R\}$$

Jeszcze jedną ważną właściwością elementów systemu jest to, że bardzo często one same mogą być uważane za systemy, czyli za podsystemy większego systemu, który z kolei może być uznawany jako ich otoczenie bliższe bądź dalsze. Zasadniczy przedmiot opisu morfologicznego - sprzężenia między elementami systemu - wygodnie jest przedstawić jako model matematyczny struktury systemu w postaci grafu⁴.

Graf $G = \langle W, U \rangle$ definiowany jako para: wierzchołków W oraz gałęzi U jest modelem struktury, gdy istnieje odwzorowanie wzajemnie jednoznaczne zbioru elementów w zbiór wierzchołków. Taki model przedstawia jakościowe własności” struktury systemu.

1.3. Opis funkcjonalny

Opis systemu w aspekcie funkcjonalnym stanowi model związków przyczynowych stanów, funkcji i procesów w poszczególnych, połączonych ze sobą, elementach (lub podsystemach) danego systemu. Charakteryzuje oddziaływania między procesami zachodzącymi w obiektach. Opis funkcjonalny wyraża dążenie do odwzorowania funkcji i procesów systemu, przestrzenno - czasowej organizacji funkcjonowania systemu oraz jego dynamiki.

Podstawowymi pojęciami [22] niezbędnymi przy opisie (matematycznym) są:

³ Cechę można opisać zależnością funkcyjną $f_i : m_i \rightarrow R$.

⁴ Grafem [10] nazywamy trójkę uporządkowaną $G = \langle W, U, P \rangle$ przy czym: W – zbiór wierzchołków; U – zbiór gałęzi; $P \subset W \times U \times W$ – relacja trójczłonowa spełniająca warunki:

a) dla każdej gałęzi u istnieje taka para wierzchołków $x, y \in W$, że $\langle x, u, y \rangle \in P$,

b) jeżeli dla gałęzi u istnieją $\langle x, u, y \rangle \in P$ i $\langle v, u, z \rangle \in P$, to albo $x = v$ i $y = z$ lub $x = z$ i $y = v$.

Szczególnym przypadkiem relacji P jest relacja, w której każdej gałęzi u odpowiada wzajemnie jednoznacznie jedna para uporządkowana $\langle x, y \rangle \in W \times W$, taka że $\langle x, u, y \rangle \in P$. wtedy para uporządkowana $\langle x, y \rangle$ określa jednoznacznie tę gałąź u i zbiór U jest izomorficzny z relacją dwuczłonową $R \subset W \times W$, określoną rozważanym grafem. Takie grafy można zapisać w postaci dwójki uporządkowanej $G = \langle W, U \rangle$.

- zdarzenia,
- procesy,
- związki przyczynowo-skutkowe,
- porządkujący powyższe elementy czas.⁵

Czas (istnienia systemu) rozpatruje się jako zbiór momentów (chwil) T , w których system istnieje, lub w których obserwuje się zachowanie systemu. Czas,⁶ który daje się reprezentować za pomocą liczb rzeczywistych nazywa się ciągłym $T \in R$. Czas przedstawiany za pomocą liczb naturalnych nazywa się dyskretnym $T = \{t_n : n \in N\}$.

W każdej chwili system znajduje się w konkretnym stanie. Dowolny element m_i systemu jest opisany przez N_i – elementowy wektor C_i cech:

$$C_i = \langle c_1, \dots, c_k, \dots, c_N \rangle$$

będących wielkościami, czyli cechami mierzalnymi. Dla każdej cechy określony jest zbiór jej wartości $Z_i \subset R$. Przyjmuje się, że wartości cech ulegają zmianie w czasie (tzn. dana jest funkcja “jakościowa charakterystyka elementu”, która dla każdej chwili przyporządkowuje wartości cechom elementu m_i).

Przyjmując, że upływ czasu jest jednakowy dla wszystkich elementów oraz pomijając indeks elementu: pojęcia stan systemu, stan elementu oraz stan wewnętrzny elementu definiowane są w literaturze przedmiotu następująco [22]:

Stanem wewnętrznym elementu⁷ systemu nazywa się wektor wartości poszczególnych cech elementu w danej chwili⁸, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu:

Stany są numerowane kolejnymi liczbami naturalnymi. Uwzględniając zbiór wejść X_i elementu m_i jako „drogi” oddziaływania otoczenia (innego elementu) na i -ty element oraz zbiór wyjść Y_i elementu m_i jako „drogi” oddziaływania i -tego elementu na otoczenie (inny element)

⁵ W zagadnieniach modelowania duże znaczenie dla opisów funkcjonalnych mają przestrzenie (np. przestrzeń stanów). Zwykle będą to przestrzenie metryczne unormowane (przestrzenie metryczne stanowią naturalne uogólnienie n -wymiarowych przestrzeni euklidesowych).

⁶ Czas traktowany jest jako zbiór, który po wprowadzeniu metryki staje się przestrzenią metryczną. Istnieje więc liczba nieujemna $d(t_i, t_j) = |t_i - t_j|$, $t_i, t_j \in T$ zwana odległością między t_i, t_j i spełniająca aksjomaty metryki:

$$1^\circ d(t_i, t_j) = 0 \Leftrightarrow t_i = t_j,$$

$$2^\circ d(t_i, t_j) = d(t_j, t_i),$$

$$3^\circ d(t_i, t_j) + d(t_j, t_k) \geq d(t_i, t_k).$$

⁷ Podobnie stanem wewnętrznym systemu nazywa się wektor wartości poszczególnych cech systemu w danej chwili czasu systemowego, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu wewnętrznego systemu.

⁸ Przestrzeń czasu systemu można traktować jako sumę „czasów własnych” wszystkich elementów systemu.

Stanem elementu nazywa się wektor określający stan wewnętrzny elementu, stan wejść X_i i wyjść Y_i w danej chwili, któremu przyporządkowany jest numer stanu:

Stan systemu w dowolnej chwili jest określony przez chwilowe stany wszystkich elementów składowych systemu. Stan systemu (elementu systemu) określa: funkcja stanów oraz funkcja zmiany stanów.

Funkcja stanów systemu:, która dla każdej wyróżnionej chwili przypisuje numer stanu systemu.

Funkcja zmiany stanów, która określa ile czasu system pozostanie w wyróżnionym stanie.

Powyższe można wyrazić w dwóch następujących stwierdzeniach.

Jeżeli w danej chwili stan dowolnego elementu systemu różni się od stanu tego elementu w innej chwili, to stan systemu w tej chwili różni się od jego stanu w innej chwili.

Jeżeli w danej chwili stan każdego elementu systemu jest taki sam jak stan każdego z tych elementów w innej chwili, to stan systemu w tej pierwszej chwili jest taki sam jak jego stan w drugiej chwili.

Stan systemu w każdym wybranym momencie jest określony przez opis stanu systemu. Na stan systemu składają się stany jego elementów. Trzeba podkreślić, że opis stanu jest związany z punktem w czasie, a nie z przedziałem czasu. Ponadto stan systemu (elementu) zależy od zbioru wejść i wyjść (systemu/elementu) oraz od ujęcia - w postaci zdarzenia - natury czasu. Wystąpienie zdarzenia stwarza warunki do zmiany stanu systemu.

Analiza zdarzeń stanowi podstawę przy badaniu dynamiki systemu. Wiąże się to często z badaniem przyczyn i skutków określonych zdarzeń czyli określeniem związków przyczynowo-skutkowych.

Jeżeli rozpatruje się system w jakimś przedziale czasu, to należy rozważać wiele stanów systemu, a więc wiele opisów stanów. Najczęściej rozważa się stany systemu w chronologicznym porządku kolejnych chwil, należących do danego przedziału czasu T . Prowadzi to do utworzenia historii stanów. Historia stanów składa się z szeregu chronologicznie uporządkowanych opisów stanów odpowiadających stanom systemu w każdej z rozpatrywanych w danym przedziale kolejnych chwil. Analiza historii stanów jest bardzo ważna ponieważ pozwala śledzić zachowanie modelowanego systemu.

W praktyce opisy stanów i historia stanów systemów prawie nigdy nie są wyczerpujące. Po pierwsze, opisy stanów zwykle zawierają charakterystykę tylko niektórych aspektów systemu, nie opisując pozostałych. Opisane są tylko te aspekty, które mają związek z celami badacza zajmującego się systemem. Po drugie, historie stanów zawierają opisy stanów tylko dla

niektórych chwil zawartych w przedziale czasu obejmującym daną historię stanów. Aby podkreślić, że opisy i historie stanów są niekompletne, można użyć terminów "częściowy opis stanów" lub "częściowa historia stanów".

Modelowanie jako współczesne narzędzie badawcze analizy systemowej może być z powodzeniem stosowane do badania zagadnień otaczającej nas rzeczywistości m.in. takich działań poznawczych jak [6]:

- obserwacja obiektu rzeczywistego;
- konceptualizacja, czyli wybór istotnych cech obiektu;
- idealizacja, czyli określenie związków między głównymi z istotnych cech obiektu;
- konkretyzacja, czyli uwzględnienie podczas określania związków pomiędzy istotnymi cechami obiektu kolejnych cech ubocznych;
- weryfikacja, czyli logiczne i empiryczne sprawdzenie związków między istotnymi cechami obiektu;
- preparacja, czyli podjęcie działań praktycznych prowadzących do zaspokojenia konkretnych potrzeb.

1.4. Symulacja i modelowanie symulacyjne

Definicja symulacji wywodzi się z badań systemowych. Potrzeba symulacji często pojawia się w trakcie badania systemów rzeczywistych, ale także w procesie badania systemów hipotetycznych. Fakt, że system jest hipotetyczny, nie znaczy, iż jego skład jest w jakimś stopniu mniej określony niż ma to miejsce w przypadku systemów rzeczywistych [8]. System hipotetyczny może być nawet lepiej określony właśnie dlatego, że jest hipotetyczny i może powstać przy założeniu, iż jego właściwości są akurat takie, jakie przedstawia jego model. Bez względu na to, czy omawiane są systemy rzeczywiste czy hipotetyczne, można uważać, iż system, który stanowi przedmiot zainteresowania i jest badany w takim czy innym celu, jest określony. Nie znaczy to, że sam system nie podlega zmianom. W rzeczywistości często stosuje się symulację w badaniach, których zadaniem jest wybranie z rodziny podobnych systemów konkretnego systemu charakteryzującego się najbardziej pożądanym dla danego celu zbiorem właściwości. Można jednak utrzymywać, że takie badanie pociąga za sobą użycie kilku różnych (choć podobnych) przypadków symulacji dla kilku różnych (choć podobnych) systemów.

Kolejnym terminem jaki należy sformułować, po zdefiniowaniu pojęć systemu i modelu jest symulacja.

Symulacja jest to proces konstruowania historii stanów [8]. Dokładniej symulacja - to konstruowanie w chronologicznym porządku opisów stanów tworzących historię stanów. Taka metoda może być na przykład przeciwstawiona możliwości generowania danych do historii stanów w porządku innym niż chronologiczny, a następnie składania lub organizowania tych danych tak, aby utworzyć historię stanów. Historia stanów skonstruowana przy pomocy metody symulacyjnej jest w rzeczywistości historią stanów modelu, a nie systemu. Ponieważ jednak model reprezentuje system, można przyjąć, że tak otrzymana historia jest historią stanów modelowanego systemu. Na bazie pojęć system oraz model można przyjąć, że symulacja jest to zastosowanie modelu w celu chronologicznego wygenerowania historii stanów tegoż modelu, która jest uważana za historię stanów modelowanego systemu.

Uwzględniając powyższe definicje można uznać, że symulacja jest czynnością lub procesem. Używanie terminu symulacja, jak gdyby była ona przedmiotem, takim jak model czy program jest nieco mylące. W takim wypadku należałoby użyć określenia "przypadek symulacji" lub "zastosowanie symulacji".

Należy podkreślić, że przypadek symulacji występuje wtedy, gdy dany model konkretnego systemu jest zastosowany w konkretnej sytuacji. Jeżeli używa się dwóch różnych modeli danego systemu, to ma się do czynienia z dwoma oddzielnymi przypadkami symulacji. Dlatego warto rozróżnić badanie symulacyjne od czynności symulacji. Badanie symulacyjne - to jedno lub więcej zastosowań symulacji w badaniach systemu lub zbioru systemów.

Terminem *modelowanie symulacyjne* określa się całokształt czynności związanych z procesem budowy modelu systemu rzeczywistego oraz przeprowadzaniem eksperymentów symulacyjnych na tym modelu w celu poznania zachowania się systemu pod wpływem wewnętrznych i zewnętrznych czynników lub dokonania oceny strategii zapewniających funkcjonowanie badanego systemu. W ten sposób modelowanie symulacyjne obejmuje nie tylko budowę modelu lecz także analityczne wykorzystanie modelu do zbadania (poznania lub rozwiązania) określonego problemu.

Istota metody modelowania symulacyjnego polega na zbudowaniu modelu badanego systemu [9], który w jednych elementach jest zgodny z systemem rzeczywistym, w innych zaś różni się od niego i który jest badany przy pomocy różnych metod i środków. Wyniki uzyskane z eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych na modelu są przenoszone drogą wnioskowania przez analogię na badany system.

Modelowanie symulacyjne stanowi niejako skojarzenie metody matematycznej i eksperymentalnej, bowiem budując model opisuje się formalnie mechanizm zachodzących procesów, podobnie jak przy stosowaniu metod matematycznych, natomiast sposób uzyskiwania

wyników jest taki, jak w metodach eksperymentalnych z tą tylko różnicą, że proces rzeczywisty zastępuje się symulacją tego procesu na przykład na komputerze [10]. Metoda ta jest z jednej strony swego rodzaju narzędziem pozwalającym sprawdzić praktyczne wyniki badań teoretycznych, z drugiej zaś strony - metodą teoretycznego rozwiązywania niektórych problemów wysuwanych przez praktykę. Można zatem przyjąć, że modelowanie symulacyjne zajmuje pośrednie miejsce między logicznymi i empirycznymi metodami i stanowi wiążące ogniwo między teorią i praktyką.

Modele symulacyjne są szczególną klasą modeli matematycznych [6]. Pozwalają one na drodze opisów matematycznych „naśladować” zachowanie się obiektu rzeczywistego obserwowanego z punktu widzenia wcześniej zdefiniowanego problemu badawczego. Modele symulacyjne są modelami badawczymi z czasem. Nawiązując do opisu funkcjonalnego systemu, w modelu symulacyjnym, zbiór zmiennych opisowych dzieli się na trzy podzbiory:

- zmiennych wejściowych – takich, których wartości są ustalone niezależnie od zachowania się obiektu rzeczywistego;
- zmiennych stanu – takich, których wartości opisują zmieniające się w czasie wybrane cechy obiektu;
- zmienne wyjściowe – część zmiennych stanu podlegających obserwacji z zewnątrz modelu;
- podzbiór jednoelementowy opisujący czas.

Pozostałe zależności opisane zbiorem liczb rzeczywistych można w modelach symulacyjnych przedstawić przy pomocy:

- funkcja stanów ,
- funkcja zmiany stanów,
- funkcji wyjściowej.

Powyższe funkcje mogą być funkcjami czasu, który może zmieniać się w sposób dyskretny bądź ciągły. Najbardziej uniwersalnym opisem matematycznym modeli systemów o działaniu ciągłym uwzględniającym ich dynamikę są równania różniczkowe. Ich odpowiednikiem dla dyskretnej zmiany czasu są równania różnicowe [11]. Modelem matematycznym szerokiej klasy ciągłych systemów dynamicznych⁹, charakteryzujących się własnościami akumulacyjnymi są równania stanu, o postaci układu równań różniczkowych rzędu pierwszego

⁹ Fakt występowania [9] parametru czasu w równaniach tworzących model jeszcze nie przesądza o tym, że model jest dynamiczny. Jeżeli we wszystkich zależnościach tworzących model wszystkie wielkości dotyczą tej samej chwili – to model taki jest modelem statycznym. Tak więc można stosować modele statyczne nawet do opisu związku między wartościami chwilowymi wielkości wejściowych i wyjściowych wyrażając je równaniem wektorowym.

$$\frac{dz(t)}{dt} = \varphi[z(t), x(t)]$$

Uzupełnieniem opisu są równania wyjścia formułujące związek między wielkościami wyjściowymi – a zmiennymi stanu i wejścia

$$y(t) = \psi[z(t), x(t)]$$

Innym rodzajem modeli dynamicznych są modele, w których uwzględnia się opóźnienia czasowe (wynikające z ograniczonej prędkości przemieszczania się zjawisk w przestrzeni). W modelach, w których uwzględnia się opóźnienia, a nie uwzględnia własności akumulacyjnych podkreśla się, że reakcja w chwili t jest skutkiem oddziaływania wejściowego, które wystąpiło odpowiednio wcześniej, a mianowicie w chwili $t-h$:

$$y(t) = \psi[x(t-h)]$$

Model matematyczny systemu dynamicznego ciągłego, w którym uwzględnia się zarówno własności akumulacyjne, jak i opóźnienia stanu w stosunku do wielkości wejściowych, ma równanie stanu o postaci:

$$\frac{dz(t)}{dt} = \varphi[z(t), x(t-h)]$$

W modelach dotyczących systemów, w których występuje dziedziczenie pewnych cech w przyszłości występują opóźnienia stanu, zatem:

$$\frac{dz(t)}{dt} = \varphi[z(t-h), x(t)]$$

Należy zauważyć, że dla modeli z opóźnieniami (w zmiennych stanu) do określenia stanu bieżącego $z(t)$ wymagana jest nie tylko, jak dla modeli bez opóźnień, znajomość wielkości wejściowych $x(t)$ oraz stanu początkowego $z(t_0)$, ale ponadto znajomość pewnych stanów wcześniejszych.

Zwykle modele dynamiczne opisywane są za pomocą równań stanu z jedną zmienną niezależną t , której fizyczną interpretacją jest czas. Taki opis jest niewystarczający dla systemów, w których stan zmienia się z upływem czasu ale różnie, w różnych punktach przestrzeni¹⁰, na jakiej rozpościera się modelowany system. W takim wypadku uwzględnia się w zmiennych stanu nie tylko czas (t) ale również zmienne przestrzenne (l). W równaniu stanu eksponuje się oprócz czasu wpływ pozostałych zmiennych niezależnych:

¹⁰ Na przykład model koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze nad regionem przemysłowym.

$$\frac{\partial z(t, l)}{\partial t} = F[z(t, l), x(t, l)]$$

gdzie lewa strona oznacza pochodną cząstkową względem zmiennej t . Występujący po prawej stronie zapis $F(\dots)$ jest w ogólnym przypadku nie funkcją, lecz operatorem określonym na funkcjach zmiennych przestrzennych l . Oznacza to w szczególności, że po prawej stronie w nawiasach kwadratowych mogą występować pochodne cząstkowe stanu względem zmiennej¹¹ l . Wielkości wejściowe x mogą działać na system „punktowo”. Również wielkości wyjściowe y mogą reprezentować tylko wybrane punkty. Wtedy dla ustalonego t funkcjom zmiennych przestrzennych rozłożonych i skupionych przyporządkowuje się wektory liczb rzeczywistych. Zatem „punktowe” wyjścia zależą od stanu rozłożonego w przestrzeni i od „punktowych” wejść.

Modelowanie symulacyjne, jako metoda badania złożonych systemów działania, jest ciągle w fazie opracowywania. Dlatego odpowiedź na pytanie: kiedy poszukiwać rozwiązań analitycznych, a kiedy stosować symulację? – pozostaje nadal zagadnieniem otwartym. Niezależnie od powyższego warto zaznaczyć, że modelowanie symulacyjne pozwala:

- opisać zachowanie się systemu;
- budować teorie i hipotezy, które mogą objaśniać obserwowane zachowanie się systemu;
- wykorzystywać te teorie i hipotezy do przewidywania przyszłego zachowania się systemu, tj. do przewidywania tych przyszłych stanów systemu, które mogą wynikać ze zmiany elementów systemu lub sposobów jego działania.

Metody badań symulacyjnych mogą służyć do:

- odtwarzania funkcjonowania systemów aktualnie już nie istniejących (tzw. symulacja odtwarzająca);
- odwzorowywania działania systemów aktualnie funkcjonujących (tzw. symulacja bieżąca);
- przewidywania działania badanych systemów w przyszłości (tzw. symulacja prognostyczna).

¹¹ Zmienna niezależna l może być skalarem. Tak się dzieje gdy modeluje się systemy jednorodnie w przekroju, a zmienne wzdłuż tylko jednej osi przestrzennej.

2. Symulacyjne modele walki w systemach wspomagania ćwiczeń

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.

2.1. 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 kon-

fliktu, uwzględniając wpływ warunków terenowych na przebieg działań bojowych. ZO, ZT i oddziały stanowią w systemie obiekty, którymi operator może się posługiwać podczas eksperymentu symulacyjnego.

2.1.1. 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).

2.1.2. 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,

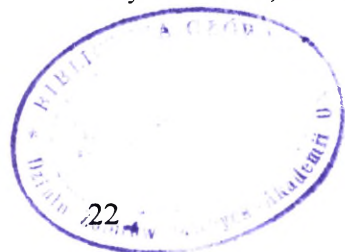
R - zbiór relacji zachodzących między elementami wzajemnie oraz otoczeniem:

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

Przy założeniu, że elementy zbioru spełniają następujące warunki:

$$E = E^A \cup E^B$$

$$E^A \cap E^B = \emptyset$$



$$E^A \neq \emptyset; E^B \neq \emptyset$$

gdzie:

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

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

Każdy element $e \in E$ 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:

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

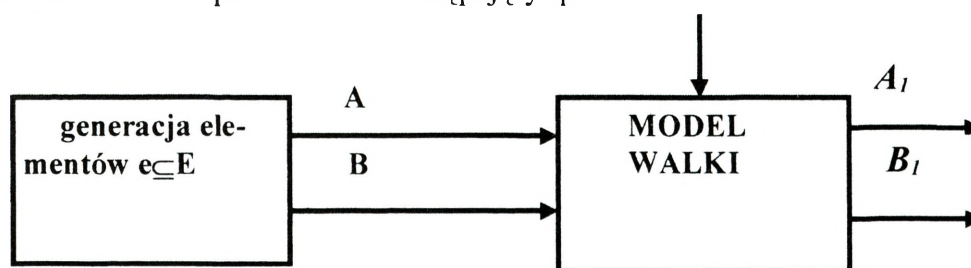
gdzie p_i to potencjał bojowy elementu;

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 oznaczmy 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:



Rys. 1. Ogólny model systemu walki

Przez A_t i B_t oznaczamy podzbiory elementów stron uczestniczące w walce po czasie t . Stan potencjałów bojowych elementów po tym czasie ulega zmianie (jest pomniejszony przez poniesione straty). Do wyliczenia strat w modelu walki został przyjęty Model Lanchestera, którego klasyczna postać jest następująca:

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

gdzie:

m^A - liczba środków strony A,

m^B - liczba środków strony B,

Λ oznacza strumień skuteczności strzelania strony A i B wyrażony wzorem:

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

gdzie:

λ^A - szybkostrzelność środków strony A,

μ^A - prawdopodobieństwo trafienia środków przeciwnika przez środki strony A,

λ^B - szybkostrzelność środków strony B,

μ^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 Δt 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 Δt 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.

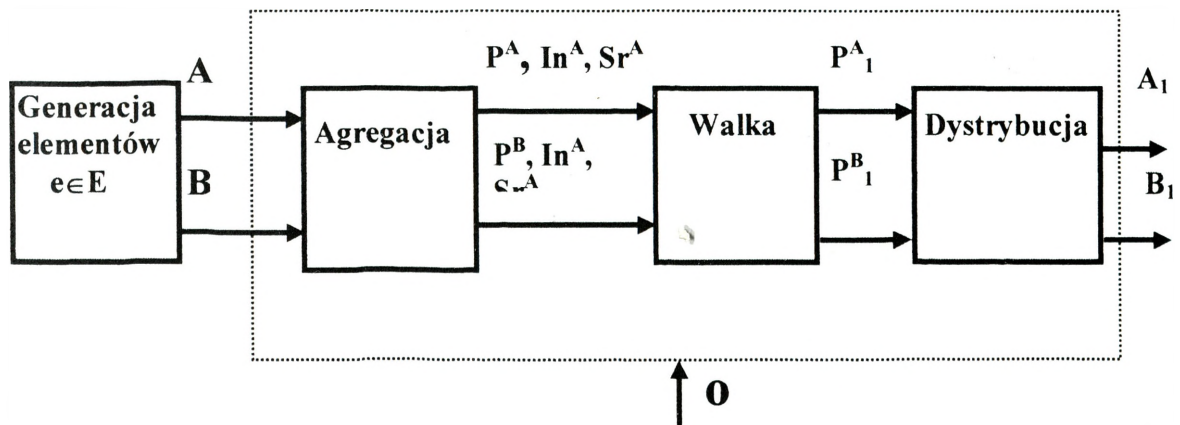
Wprowadzając pojęcie potencjału stron P^A i P^B , intensywność niszczenia potencjału In^A i In^B , oraz prawdopodobieństwo wzajemnego rozpoznania stron Sr^A i Sr^B otrzymujemy nowy układ równań:

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

gdzie: $\Lambda^A = In^A \cdot Sr^A$

$\Lambda^B = In^B \cdot Sr^B$

Model można teraz przedstawić w następujący sposób:



Rys.2. Uszczegółowiony model systemu walki

- W module „Agregacja” następuje agregowanie wartości potencjałów, intensywności niszczenia oraz prawdopodobieństwa rozpoznania poszczególnych elementów wchodzących w skład obu stron. Na wyjściu modułu otrzymujemy:

- wartość potencjału strony A:

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

- wartość intensywności strony A:

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

- wartość prawdopodobieństwa rozpoznania strony A:

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

gdzie:

- p_i - wartość potencjału i-tego elementu;
- in_i - wartość intensywności niszczenia i-tego elementu;
- 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
- μ_T - współczynnik wpływu rzeźby i pokrycia terenu
- P^A, P^B - potencjały stron;
- ω - współczynnik efektywności działań, określany formułą uwzględniającą względne straty potencjału obu stron;

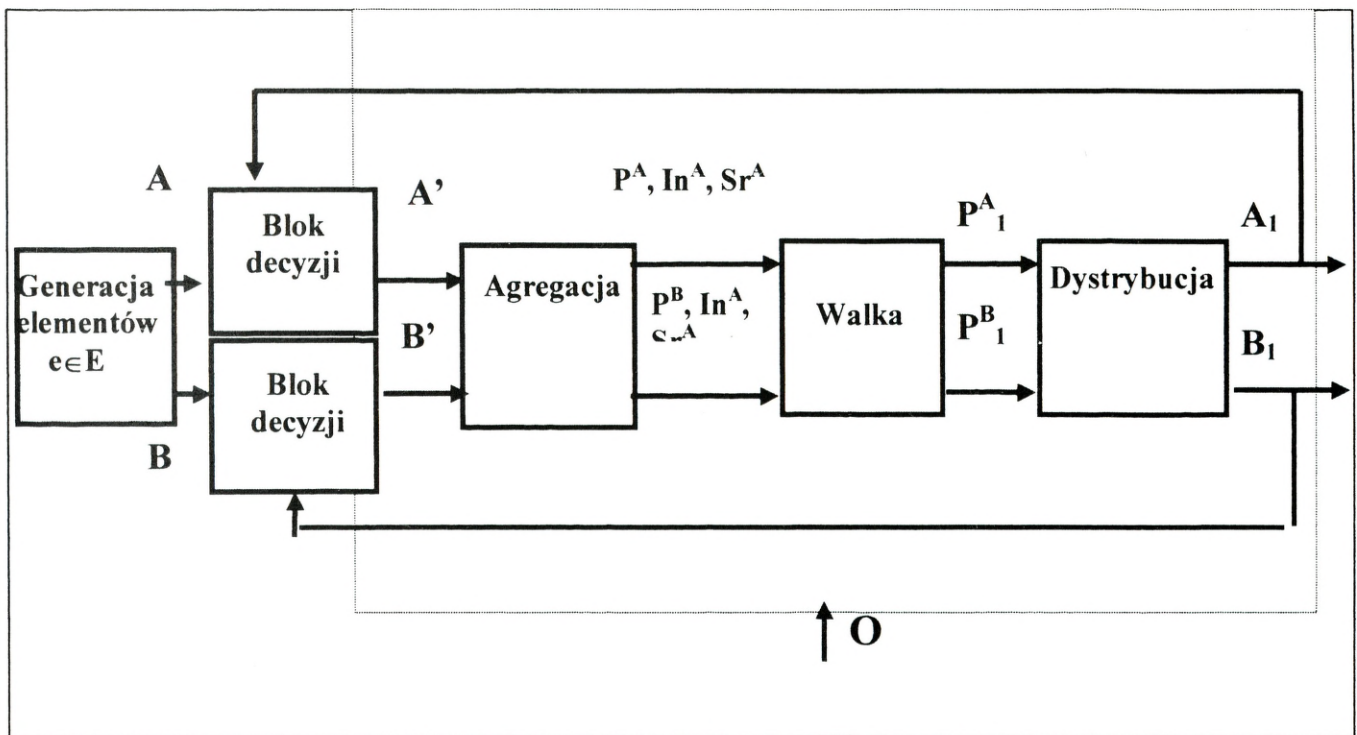
gdzie:

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

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 Δt . W module „dystrybucja” następuje rozdzielanie strat stron na poszczególne elementy. Zasadą dystrybucji może być losowe lub równomierne rozdzielanie 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.3. Model systemu walki przyjęty w Model-5

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

2.1.3. 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.

2.2. CBS

CBS [24] 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.

2.2.1. 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 przelaj
 - 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, dy-

mów, 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 „spieszą” 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
- Zaslony 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 inżynieryjnych zależy od kombinacji systemu zabezpieczenia działań, personelu i zasilania dostępnego jednostce
- Jednostki mogą wykonywać ww. czynności tylko podczas walki
- Elementy inżynieryjnego zabezpieczenia walki są bardziej podatne na straty od ognia bezpośredniego podczas wykonywania zadań inżynieryjnych
- Możliwość wykonania zadań inżynieryjnych są mniejsze w nocy, w terenie skażonym, w terenie nieprzyjaznym oraz gdy jednostki jest pod ogniem przeciwnika
- Lotnictwo może stawiać narzutowe pola minowe DSCAM, robić wyrwy w drogach oraz niszczyć mosty inżynieryjne
- 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, ładowna 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
 - przerzucane 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 szturmowania powietrznego 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 wspomaganie 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 przeciwlotnicze 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 raketami 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
 - Nasiemny Punkt Uderzenia broni okręgu definiowanego dla stanowisk ADA
 - tworzone są meldunki o raketach 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 zasoby 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 zasoby 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.

2.2.2. 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

2.2.3. 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

2.3. 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).

2.3.1. 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 inżynierską 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 zapor, w którym obiektem symulacji są pojedyncze zapory;
 - * uproszczony model oddziaływania zapor, 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 inżynieryjnych 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 żądała 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.

2.3.2. 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.

2.3.3. 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.

2.4. SimoF

SIMOF [16] jest symulacyjnym modelem wspomagania ćwiczeń na szczeblu operacyjnym do realizacji połączonych działań lądowo-powietrznych, który zawiera scenariusze działań korpusu na teatrze działań wojennych. Jest przeznaczony do wspomagania 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 wspomagana 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...”

2.4.1. 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 raket 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 odslużiwana przez model.

2.4.2. 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.

2.4.3. 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 drogowa i kolejowa jest reprezentowana w postaci sieci punktów i odcinków.

2.5. ABS2000

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 realizacją pola walki. Modele te wzajemnie uzupełniają się. Na przykład podczas symulacji każde użycie środków ogniowych powoduje redukcję 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.

2.5.1. 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 inżynieryjny.

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 wystrzeliana 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 terenu 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 określone 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 posiada żądanego 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 inżynierski

Model ten zarządza przeszkodami, polami minowymi, przeprawami itp. Jednostki inżynierskie są charakteryzowane przez różnorodne wyposażenie inżynierskie 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 inżynierską (kontrolowane wybuchy). Przeszkody sztuczne są przygotowywane na poziomie trzech poziomów funkcjonalności.

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

2.5.2. 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 metod 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.

2.5.3. 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 danego 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.

2.6. 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). Dlatego też najbardziej szczegółowo opisane zostały systemy Model-5, CBS i KORA, w węższym zakresie ABS2000, a o systemie SimoF nasza wiedza jest znikoma. Można przypuszczać, że rozwiązania w zakresie modeli matematycznych są zbliżone do rozwiązań zastosowanych w systemie KORA.

W systemie CBS, KORA i ABS2000 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 kolejną 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 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 probabilistyczne. 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 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.

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

3. Matematyczne modele 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

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

gdzie:

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

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

\dot{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

Ponizej 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.

1. 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 bojowy¹²;
 - 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.

¹² 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:

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

2. 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:

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

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

okresie czasu Δt . (problem „częściowych” salw można rozpatrywać w bardziej szczegółowym modelu)

Prawdopodobieństwo $P_{j^A j^B}$ zniszczenia j^B – tego środka walki przez j^A – ty środek walki uwzględnia macierz dopuszczalnych oddziaływań (d_{ij}), 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 Δt obliczamy według (2.3). We wzorach (2.3) można uwzględnić inne zmienne będące zagregowanymi wielkościami innych zmiennych cząstkowych, które w modelu chcemy uwzględniać (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 antagonistycznych stron wynikają (przynajmniej) dwa zasadnicze spostrzeżenia:

- dużego redukcjonizmu modelu w stosunku do oryginału¹³ – rzeczywistych procesów walki (choć procesy zabezpieczenia (logistycznego i bojowego) można /i uwzględnić

¹³ Należy jednak pamiętać, że nie ma uniwersalnych modeli. Opracowany (jakikolwiek) model nie odwzorowuje wszystkiego o oryginale, nie wypełnia wszystkich celów i wszystkich podmiotów badawczych. Model oryginału opracowywany jest w ściśle określonym celu, spełnienia określone kryteria (będące wyznacznikiem jego konceptualizacji).

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**¹⁴.

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:

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

¹⁴ 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.¹⁵
2. Każda jednostka elementarna dowolnego typu może strzelać do dowolnej jednostki elementarnej przeciwnika. Ogień jest celowany, tzn. skierowany na rażenie w

¹⁵ Jeżeli czas ponownego „załadowania” jednostki elementarnej jest stosunkowo mały w porównaniu ze średnim odstępem czasu pomiędzy kolejnymi strzałami.

pełni określonej jednostki elementarnej przeciwnika. Jednym strzałem nie można razić więcej niż jedną jednostkę elementarną przeciwnika.¹⁶

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.¹⁷
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.¹⁸

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 walki¹⁹, tzn. niszczących: określone środki walki przeciwnika.

$m(t)$ oznacza liczbę środków walki strony.

¹⁶ 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.

¹⁷ Wymaga to, aby czas przeniesienia ognia jednostki elementarnej był dostatecznie mały.

¹⁸ Im liczniejsze grupy jednostek elementarnych biorą udział w wymianie ogniowej, tym założenie to lepiej odpowiada rzeczywistości.

¹⁹ Aby nie zaciemniać istoty modelu nie rozróżniamy tu poszczególnych grup jednostek elementarnych, ale zachowując założenia modelu klasycznego, rozważamy walkę środka walki z e środkiem walki. Nie uwypuklamy zatem organizacji walczących stron i typologii środków walki.

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

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:

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

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 walki²⁰

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 .

Wielkości te spełniają następujące warunki:

$$0 \leq X^A_{ij}(t), \quad 0 \leq Y^B_{ji}(t)$$

$$\sum_{j=1}^{J^B} X^A_{ij}(t) \leq 1, \quad \sum_{i=1}^{I^A} Y^B_{ji}(t) \leq 1$$

²⁰ A. Chojnacki. Modelowanie matematyczne i algorytmizacja planowania działań bojowych. Rozprawa doktorska. WAT, 1976.

Wtedy równania dynamiki walki mają postać:

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

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:

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

Dla strony B:

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

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

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

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 $PB^A(t_0) = PB^A_0 > 0$, $PB^B(t_0) = PB^B_0 > 0$.

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).

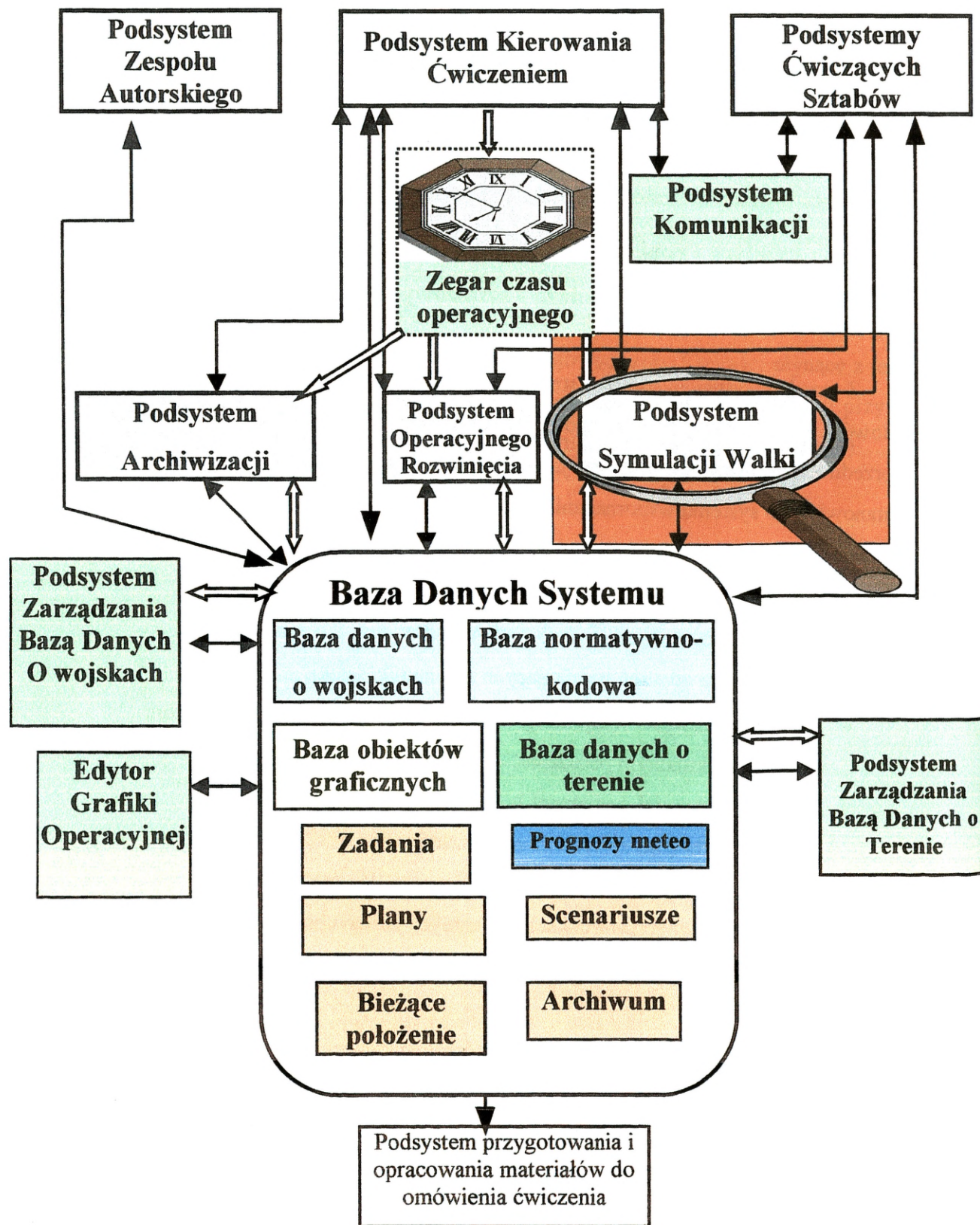
4. Ogólna koncepcja symulacyjnego modelu walki na szczeblu taktycznym

4.1. Miejsce i rola modelu walki w Systemie Informatycznego Wspomagania ćwiczeń dowódczo - sztabowych

Z przedstawionej na rysunku strukturze Systemu Informatycznego Wspomagania ćwiczeń dowódczo - sztabowych wyróżniony jest **PODSYSTEM SYMULACJI WALKI**, który jest przedmiotem naszych rozważań i jak widać na rysunku jest „brany pod lupę”. Podsystem ten stanowi jądro systemu wspomagania ćwiczeń. Jego zadaniem jest:

- 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 posiadaniem 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;

Jak widać z powyższych zadań podsystem realizuje wszystkie procesy związane z prowadzeniem walki przez pododdziały, oddziały i związki taktyczne.



Rys.4. Struktura Systemu Informatycznego Wspomagania ćwiczeń dowódczo-sztabowych

4.2. Założenia i ograniczenia przyjęte dla opracowania koncepcji modelu symulacyjnego procesu walki na szczeblu taktycznym.

Opracowując koncepcję modelu symulacji walki uwzględnić trzeba zadania i rolę jakie ma on spełniać w całym systemie informacyjnego wsparcia ćwiczeń. Od modelu wymagane jest odzwierciedlenie procesów jakie mają miejsce podczas walki. Złożoność tych procesów, ich gwałtowność, nieprzewidywalność oraz nieokreśloność powoduje, że projektując komputerowy model walki trzeba wyróżnić te procesy, które mają istotny wpływ na jej przebieg i znaleźć ich matematyczne odwzorowanie, a następnie zaimplementować je w modelu. Z realizacji i odwzorowania w modelu niektórych procesów trzeba zrezygnować ze względu na brak dostatecznej wiedzy aby opisać je matematycznie lub ze względu na brak odpowiednich możliwości ich odwzorowania. Ponieważ model ma charakter gry należy dążyć aby uczestniczące w niej strony miały jednakowe ograniczenia i możliwości wynikające z funkcjonowania modelu. Nie może być takiej sytuacji, że jedna ze stron jest faworyzowana przez model. Wynik takiej symulacji z góry byłby fałszywy i zamiast przynieść korzyści dla ćwiczących przyniósłby szkody w postaci utrwalonych złych nawyków i przeświadczeń. Projektując model symulacji walki na szczeblu taktycznym przyjęliśmy następujące założenia:

- Modelowanie walki dotyczy walki prowadzonej przez wojska lądowe i jest możliwe tylko wtedy gdy będą występowały obiekty dwóch przeciwstawnych stron.
- Wojska lądowe podczas prowadzonych działań mogą być wspierane przez lotnictwo wojsk lądowych, a także przez siły powietrzne.
- Walka jest prowadzona w konkretnym terenie, który jest odwzorowany w modelu poprzez odpowiednie numeryczne modele terenu.
- Na walkę mają wpływ aktualne warunki atmosferyczne.
- Walka jest prowadzona w czasie operacyjnym stąd istotną rolę w symulacji odgrywa mechanizm zegara czasu operacyjnego. Czas operacyjny może być zgodny z czasem rzeczywistym, przesuniętym wobec niego w przód lub w tył, jak również może on być przyspieszany lub opóźniany. Od czasu operacyjnego uzależniona jest pora doby i pora roku. Warunki atmosferyczne powinny być w ogólności zgodne z porą roku.
- Podczas walki istotne są procesy rozpoznania, rażenia, ruchu i 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 opl,
 - ✓ zasilania,
 - ✓ remontów uszkodzonego sprzętu,
 - ✓ uzupełnień kadrowych.
- Najniższym szczeblem dowodzenia w systemie, które może być ćwiczony lub podgrywany 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.
 - Wszystkie obliczenia związane z możliwościami systemów broni będą dotyczyły obiektów podstawowych.
 - Wszystkie 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 ćwiczeni 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 obездwładnić 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 obездwładnić 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 odzyskanie (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 na tym etapie 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 inżynierskich.**
- **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.

4.3. Koncepcja modelu walki na szczeblu taktycznym

Model walki jest najważniejszym elementem czyli jądrem podsystemu walki. Bez tego modelu nie jest możliwe odzwierciedlanie zachowań, a w szczególności walki obiektów na polu walki. To właśnie w tym elemencie systemu skupia się sedno prowadzenia ćwiczeń dowódczo-sztabowych bez udziału wojsk. Model powinien zapewnić ćwiczącym wrażenie, że ich decyzje dotyczą rzeczywistych warunków. Powinno to wynikać z reakcji modelu na ich decyzje i działania stron przeciwnej. Model może ćwiczącym uświadamiać ich brak wyobraźni, brak zdolności przewidywania działań strony przeciwnej, a w końcu pokazywać im skutki podjętych decyzji.

Model walki nazywany dalej symulatorem stanowi część Podsystemu Symulacji Walki, jest z niego zasilany informacyjnie, a sam składa się z modeli, które rozwiązują problemy cząstkowe w zależności od rodzaju symulowanego działania, charakteru obiektu. 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 symulator realizując zdarzenia 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. Punktem odniesienia dla symulatora jest zawsze aktualne położenie obiektów, które jest analizowane w kontekście terenu, aktualnego stanu warunków meteorologicznych i czasu. Następnie analizowane jest:

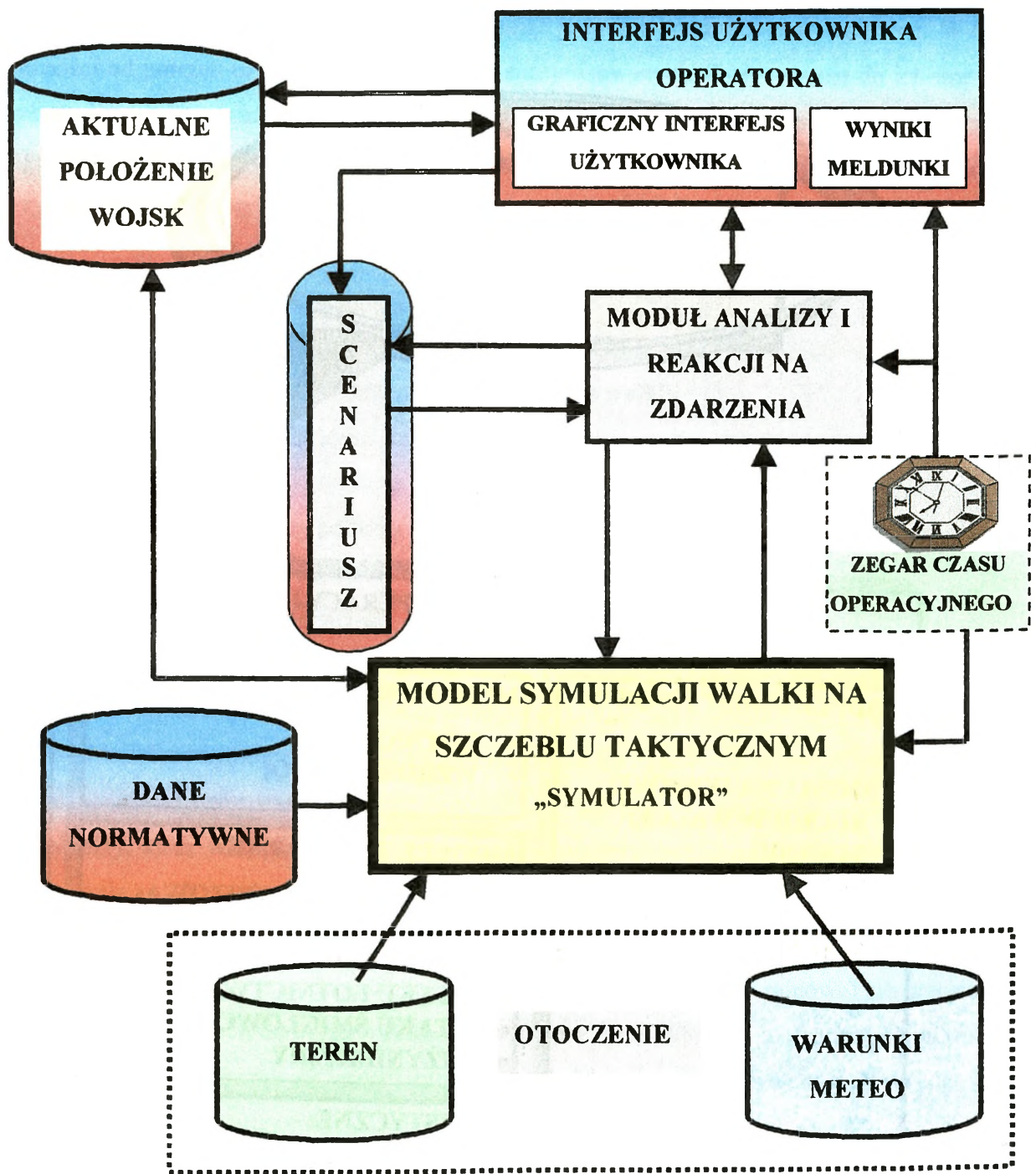
- Aktualnie wykonywana czynność obiektu.
- Stan obiektu wynikający z:
 - ✓ aktualnego ukończenia ludzi i sprzętu,
 - ✓ zdolności do dalszego wykonywania czynności czyli:
 - posiadane zapasy amunicji i uzbrojenia,

- czas nieustannego prowadzenia walki, a więc wyczerpanie wojsk,
- poniesione straty,
- odnoszone sukcesy lub ponoszone klęski.

Po takiej analizie symulator 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:

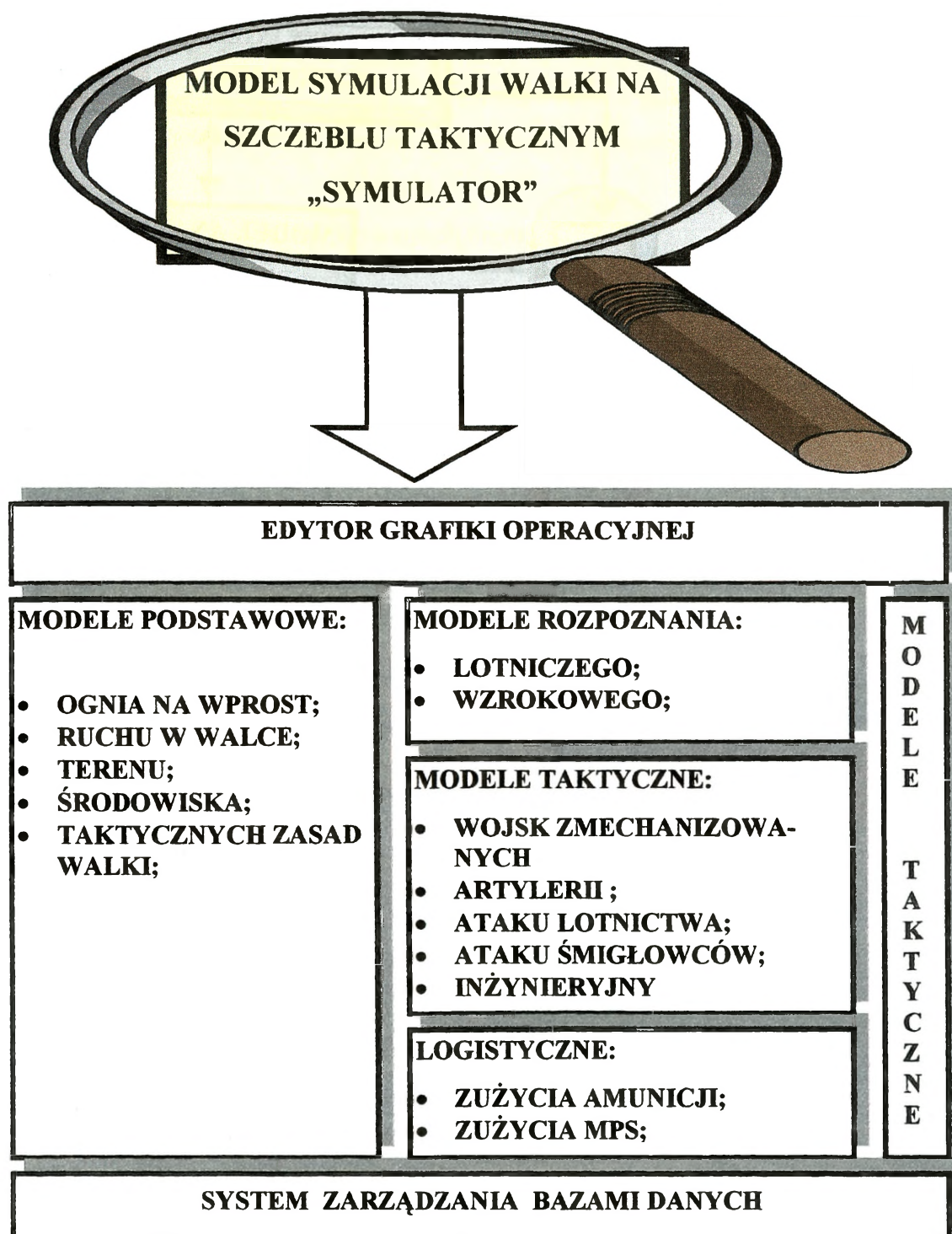
- Poniesionych strat w ludziach i systemach broni.
- Niezbędnych zapasów amunicji.
- Niezbędnych zapasów mps.

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



Rys. 5 . Struktura podsystemu walki

Przedmiotem dalszych rozważań jest konstrukcja symulatora.



Rys. 6. „SYMULATOR” - Modele symulacyjne różnych procesów zachodzących na polu walki

Podstawą „Symulatora” są modele podstawowe. Modele te posiadają naturę fizyczną. Symulują rzeczywiste działania i procesy stosując w tym celu modele matematyczne. W zależności od potrzeb używają również modeli specjalizowanych. Zastosowanie do ich implementacji zaawansowanego technologicznie oprogramowania powinno zapewnić, że podczas symulacji będą generowane realistyczne sytuacje taktyczne zbliżone do tych, które mogą zdarzyć się na rzeczywistym polu walki.

Wyróżnia się następujące modele podstawowe:

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

Model oblicza 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 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. 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 czołgów. Pozwalają one na automatyczną symulację ich działania. 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 bazowych.

Wyróżnia się następujące modele specjalistyczne:

- ✓ model wojsk zmechanizowanych;
- ✓ model rozpoznania;
- ✓ 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 spełnia dwie zasadnicze funkcje:

- √ pierwsza to 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.
- √ druga to 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 tym rozróżnia się działanie tego rodzaju wojsk jako:

 - ✓ 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 strze-

leckiej 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, ze 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 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 stany 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 bazowe i specjalistyczne** stanowią jądro symulatora. Uszczegółowienie koncepcji rozwiązania i algorytmizacja każdego z nich, która będzie miała miejsce w następnym etapie prac, pozwoli do ich zaimplementowania w języku programowania.

Zakończenie

W opracowaniu, będącym syntezą realizacji pierwszego etapu pracy naukowo – badawczej pt. „SYMULACYJNY MODEL WALKI NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM” skoncentrowano uwagę na **analizie wymagań oraz opracowaniu zarysu koncepcji systemu**.

Przedstawione opracowanie obejmuje w zasadzie dwie części (będące w relacji implikacji).

Pierwsza – to synteza aktualnej wiedzy naukowej w postaci **teoretycznej**, jak i **implementacyjnej**. Dotyczy istoty modelu symulacyjnego, różnych jego klas i form opisu (aspekt teoretyczny). Prezentuje esencjonalne własności modelowania symulacyjnego i samego procesu symulacji (aspekt pragmatyczny). W nurcie implementacyjnym prezentuje syntezę realnych modeli walki (funkcjonujących współcześnie w różnych państwach) takich jak MODEL-5, CBS, CORA, SIMOF, ABS2000, koncentrując się na rozwiązaniach funkcjonalno – użytkowych (aspekt pragmatyczny) i formalno – merytorycznych (aspekt teoretyczny). Przedstawiony rozdział dotyczący matematycznych modeli walki prezentuje kilka klas stosowanych modeli formalnych walki. Założenia przyjęte przy formowaniu modelu oraz redukcjonizm postrzegania oryginału uświadamiają trudności procesu odwzorowania oryginału do postaci modelu. Fakt ten wpływa na proces wnioskowania o oryginale na podstawie takiego modelu. Niektóre środowiska uważają, że większa detalizacja odwzorowania procesów walki (niższy poziom dowodzenia) w modelu zwiększa jego adekwatność. Niemniej, jak do tej pory, nieznanym jest dowód potwierdzający lub zaprzeczający takim poglądom.

Druga – to konceptualizacja symulacyjnego modelu walki wynikająca (m.in.) z syntezy części pierwszej. Przedstawiona ogólna koncepcja dotyczy przyjętej dekompozycji oryginału, istotności powołanych do bytu jego elementów i związków oraz ich zupełności (aspekt teoretyczny), jak i rozwiązań operacyjno – funkcjonalnych (aspekt pragmatyczny).

Problem podjęty przez autorów do badania i naukowej eksploracji jest z jednej strony – mocno złożony i interdyscyplinarny, a z drugiej strony – jego rozwiązanie niezwykle pożądane przez różne środowiska. Dlatego jest niezwykle atrakcyjny naukowo, ale i jakiegokolwiek konstatacje tu dokonane – niezwykle odpowiedzialne.

W drugim etapie realizacji problemu naukowo – badawczego autorzy skoncentrują uwagę na rozwinięciu koncepcji symulacyjnego systemu walki, której ogólna postać została tutaj podana. Nastąpi detalizacja i konkretyzacja konceptualizowanego modelu – w sensie szerszym (operacyjno – funkcjonalnym) oraz w sensie węższym – sformułowanie matematycznego modelu walki.

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. Czerniak J. „Informacja i zarządzanie” Warszawa 1978.
8. Evans G. W. „Symulacja na maszynach cyfrowych”, WNT, Warszawa 1973.
9. Filar W. „Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki” Wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN, 1979.
10. Fishman G. S. „Symulacja komputerowa – pojęcia i metody”, PWE, Warszawa 1981.
11. Gutenbaum J. „Modelowanie matematyczne systemów” PWN Warszawa-Łódź 1987.
12. Korzan B. „Elementy teorii grafów i sieci metody i zastosowania” WNT Warszawa 1978.
13. Kotarbiński T. „Traktat o dobrej robocie” Ossolineum, Warszawa 1969.
14. Kulczycki R., Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. „Model wojny SIEĆ-1”, AON, Warszawa 1997.
15. Mrowiec T., Ratajczak M., Wieleba R., „Prognozowanie skutków podejmowanych decyzji z wykorzystaniem metody modelowania symulacyjnego, AON, Warszawa 1992.
16. Overview of Trainer Architectures for Simulation Systems GUPPIS, SimoF, HORUS
17. Praca zbiorowa „Modelowanie walki zbrojnej „SKORPION” , AON, Warszawa 1994
18. Rajski J, Tyszer J., Modelowanie i symulacja cyfrowa, Poznań 1986.
19. Sienkiewicz P. „Inżynieria systemów kierowania” Warszawa 1988.
20. Sienkiewicz P. „Podstawy teorii systemów” Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 1993.
21. Sienkiewicz P. „Systemy kierowania” Warszawa 1989.
22. Sienkiewicz P. „Teoria efektywności systemów kierowania – Tom I – Wstęp do systemologii – Rozprawa habilitacyjna” ASG WP, Warszawa 1979.
23. System komputerowej symulacji pola walki KORA/OA – Materiał informacyjny
24. System symulacji działań korpusu (CBS) - Materiały Informacyjne

25. Tomaszewski A., „Podstawowe założenia i ogólna koncepcja komputerowej gry wojennej” AON, 1994;
26. Tomaszewski A., Funkcje , zadania i podstawowe założenia organizacyjne ośrodka symulacji działań wojsk, AON, Warszawa 2000;

