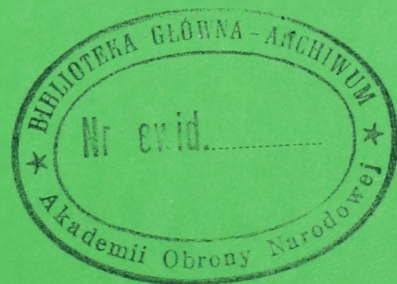


AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

**CENTRUM SYMULACJI
I KOMPUTEROWYCH GIER WOJENNYCH**

**MODELE EKSPERYMENTÓW SYMULACYJNYCH
Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU „ZŁOCIEŃ”**

**METODYKA OPRACOWANIA
EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO**



57897

WARSZAWA

2004

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM SYMULACJI

I KOMPUTEROWYCH GIER WOJENNYCH



**MODELE EKSPERYMENTÓW SYMULACYJNYCH
Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU „ZŁOCIEN”**

**METODYKA OPRACOWANIA EKSPERYMENTU
SYMULACYJNEGO**

Płk Ryszard WIELEBA

Ppłk Janusz WOCIAL

Ppłk Grzegorz PIETRZAK

Warszawa

2004

Spis treści

SPIS TREŚCI	2
WPROWADZENIE	3
1. SYMULACYJNA METODA BADANIA SYSTEMÓW	6
1.1. METODY BADAWCZE SYSTEMÓW	6
1.1.1. <i>Modele systemu</i>	7
1.1.2. <i>Klasyfikacja modeli matematycznych</i>	8
1.2. ISTOTA METODY SYMULACYJNEJ	11
1.2.1. <i>Metody rozwiązania problemu</i>	11
1.2.2. <i>Symulacyjna metoda badawcza</i>	13
1.2.3. <i>Porównanie metod badania systemów</i>	20
2. SYSTEMY SYMULACYJNE WALKI	24
2.1. ISTOTA MODELU SYMULACYJNEGO	24
2.2. CHARAKTERYSTYKA SYMULACYJNYCH SYSTEMÓW WALKI	25
2.2.1. <i>Podstawowe moduły systemu symulacyjnego walki</i>	25
2.2.2. <i>System Symulacyjnego Wspomagania Szkolenia Operacyjnego „Złocień”</i>	33
2.2.3. <i>System The Joint Theater Level Simulation - JTLS</i>	38
3. ISTOTA SYMULACJI I EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO	48
3.1. OGÓLNA PROCEDURA REALIZACJI SYMULACJI	48
3.2. ZADANIA PROCESU REALIZACJI EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO	50
3.2.1. <i>Faza przygotowania eksperymentu symulacyjnego</i>	52
3.2.2. <i>Faza realizacji eksperymentu symulacyjnego</i>	53
3.2.3. <i>Faza analizy i interpretacji wyników eksperymentu symulacyjnego</i>	54
4. METODYKA OPRACOWANIA EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO	55
4.1. PRZYGOTOWANIE SCENARIUSZA EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO	55
4.1.1. <i>Ogólna procedura przygotowania scenariusza</i>	55
4.1.2. <i>Oprogramowanie</i>	62
4.1.3. <i>Konfiguracja sprzętowa</i>	74
4.1.4. <i>Zdarzenia awaryjne błędy</i>	75
4.1.5. <i>Uzyskany produkt</i>	75
4.2. REALIZACJA PROCESU SYMULACJI	76
4.2.1. <i>Ogólna procedura prowadzenia symulacji</i>	76
4.2.2. <i>Oprogramowanie</i>	79
4.2.3. <i>Konfiguracja sprzętowa</i>	85
4.2.4. <i>Zdarzenia awaryjne błędy</i>	86
4.2.5. <i>Uzyskany produkt</i>	88
4.3. ANALIZA WYNIKÓW SYMULACJI	88
4.3.1. <i>Ogólna procedura analizy wyników symulacji</i>	88
4.3.2. <i>Oprogramowanie</i>	89
4.3.3. <i>Konfiguracja sprzętowa</i>	90
4.3.4. <i>Zdarzenia awaryjne błędy</i>	90
4.3.5. <i>Uzyskany produkt</i>	92
ZAKOŃCZENIE	93
BIBLIOGRAFIA	94

Pracę naukowo-badawczą „**MODELE EKSPERYMENTÓW SYMULACYJNYCH Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU „ZŁOCIEŃ” METODYKA OPRACOWANIA EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO**” wykonał zespół pracowników naukowo-badawczych CENTRUM SYMULACJI I KOMPUTEROWYCH GIER WOJENNYCH pod kierownictwem płk. dr. inż. Ryszarda WIELEBA w składzie:

ppłk dr inż. Janusz WOCIAL

ppłk mgr inż. Grzegorz PIETRZAK

Poszczególni członkowie zespołu opracowali

- płk dr inż. Ryszard WIELEBA Rozdział 2, 3.1, zakończenie,
- ppłk dr inż. Janusz WOCIAL Rozdział 1, 3.2, wprowadzenie,
- ppłk mgr inż. Grzegorz PIETRZAK Rozdział 4.

PRACA NAUKOWO-BADAWCZA

Wprowadzenie

Prezentowane opracowanie „**Metodyka opracowania eksperymentu symulacyjnego**” zrealizowane zostało w ramach pracy naukowo – badawczej (poz. 7.17.1.0 w „Planie zadaniowo – finansowym działalności naukowej AON na lata 2004 - 2006). Opracowanie stanowi pierwszy etap realizacji zadania badawczego pt. „**Modele eksperymentów symulacyjnych z zastosowaniem systemu „Złocień”**”.

Autorzy opracowania od kilkunastu lat specjalizują się w dziedzinie modelowania działań bojowych, w szczególności w zakresie modeli i systemów symulacyjnych walki. W ich obszarze zainteresowań mieszczą się zarówno problemy ogólnoteoretyczne – konceptualizacja modeli formalnych (matematycznych) różnych procesów walki (niszczenia, ruchu, zasilania, dowodzenia, itp.), jak też problemy ich implementacji do poziomu systemu symulacyjnego (a więc technologie modelowania, projektowania i implementacji), wreszcie problemy efektywnej ich eksploatacji (wdrożenia, eksploatacji, pielęgnacji oraz modyfikacji).

Są autorami wielu koncepcji modeli walki (na różnych szczeblach dowodzenia) do poziomu projektu koncepcyjnego, a także implementacji projektu do poziomu systemu komputerowego. Jednocześnie autorzy od wielu lat uczestniczą w przygotowywaniu i przeprowadzaniu ćwiczeń dowódczo – sztabowych wspomaganych komputerowo, w tym ćwiczeń realizowanych w oparciu o systemy symulacyjne walki. Doświadczenia tu nabyte pozwalają zidentyfikować operacyjne wymagania oraz potrzeby informacyjne zespołów funkcyjnych ćwiczenia – z jednej strony, ale także funkcjonalne możliwości eksploatowanych systemów symulacyjnych – z drugiej strony.

Od kilku lat autorzy są pracownikami **Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych (CSiKGW)**, w którym przeprowadza się symulację działań militarnych (i pozamilitarnych) w oparciu o symulacyjne systemy walki oraz w którym planuje się organizować ćwiczenia typu CAX. Aktualnie na wyposażeniu CSiKGW znajdują się dwa systemy symulacyjne: JTLS (p.2.2.3), który jest rozpoznawany przez oficerów od początku 2004 roku oraz system „Złocień” (p.2.2.2), którego wdrożenie rozpocznie się w 2005 roku, po uzyskaniu wymaganych urządzeń sprzętowych i licencjonowanego oprogramowania¹. Jedyne realne próby, jakie autorzy przeprowadzić mogli, realizowane były na systemie JTLS. Natomiast

¹ Funkcjonalności operacyjne i informatyczne systemu „Złocień” poznane zostały w trakcie badań kwalifikacyjnych systemu, w których uczestniczył jeden oficer z zespołu autorskiego opracowania.

realizacja eksperymentów symulacyjnych, jakie autorzy zamierzali przeprowadzić na systemie „Złocień” nie mogła być zrealizowana wobec takiej sytuacji. Zatem jedynie doświadczenia nabyte podczas realizacji eksperymentów symulacyjnych na systemie JTLS stały się podstawą weryfikacji wiedzy teoretycznej autorów i, na ile to było możliwe, oceny funkcjonalności operacyjnej i informatycznej systemów.

W analizie systemów *wielkich i złożonych*², albo systemów nie poddających się badaniom ze względu na swoją naturę (a takimi są systemy militarne realizujące swój podstawowy cel, jakim jest walka zbrojna oraz działania pozamilitarne) stosować należy metody innej klasy niż empiryczne. Wielkie znaczenie metod empirycznych zawiera się w tym, że dostarczają materiału empirycznego, na którego podstawie weryfikować można orzeczenia wyprowadzone innymi metodami (np. dedukcyjno – indukcyjnymi) albo zmieniać przeświadczenia dotychczas uznane za poprawne. W naukach wojskowych, ze względu na przedmiot badania, jakim są siły zbrojne (z ich podstawową funkcją, jaką jest walka zbrojna), nie poddające się badaniom empirycznym, stosuje się badania tzw. paraempiryczne³, tj. oparte o pewien **model** odwzorowujący realny przedmiot i jego cechy. Modele te mogą być różne, niemniej przedstawiać powinny atrybuty i związki zachodzące między nimi w taki sposób, jak w realnym systemie i powinny być istotne z punktu widzenia celu dla realizacji którego prowadzony jest proces badawczy. **Modele i systemy symulacyjne** od dawna zdobyły uznanie, co do swoich możliwości eksperymentalnych. Od dawna też znane są ich podstawowe niedostatki, tkwiące w zbyt dużym redukcjonizmie i w zbyt daleko posuniętych ograniczeniach. Wynika to z faktu dużej złożoności i wielostronnych związków będących w różnorodnych interakcjach, jakie zachodzą w systemach realnych.

Przedstawione opracowanie dotyczy symulacyjnych modeli walki w aspekcie ich użytkowania. Nie dotyczy jednak zagadnień organizatorskich (zespołów ćwiczących i roli poszczególnych uczestników), ale problemów czysto metodycznych. Tam, gdzie było to konieczne podnosi się problemy merytoryczne. Poczynając od metodologii stosowania systemów symulacyjnych w ogólności, jak i w poszczególnych fazach realizacji ćwiczenia typu CAX, po poprawne planowanie (projektowanie) eksperymentów symulacyjnych i jego realizację.

² Patrz Gutenbaum – *wielki* – bo dużo istotnych zmiennych uwzględniać należy, *złożony* – bo w wielu istotnych interakcjach są te zmienne.

³ M. Pelc, Wybrane problemy metodologiczne wojskowych badań naukowych, AON, 1998

Autorzy mają nadzieję, że powyżej nakreślona problematyka – metodycznie poprawnego użytkowania systemów symulacyjnych w naukowych badaniach wojskowych, poddana zostanie głębszej analizie badawczej (w szczególności po uzyskaniu możliwości eksperymentowania na innych systemach) przez szersze grono pracowników naukowo – badawczych AON, studentów i szkolonych oficerów dowództw i sztabów. Wtedy też możliwe będzie opracowanie nie konceptualizowanej tylko, ale zweryfikowanej empirycznie, dojrzałej metodyki opracowania eksperymentu symulacyjnego (zaplanowania, realizacji, wnioskowania) akceptowanej, uznanej za poprawną, a także efektywnej. Potrzeba takiego działania wynika przynajmniej z trzech powodów:

- (świadomościowych) mocno rozbudowanych oczekiwań tak wielu oficerów od systemów symulacyjnych, które eksploatowane mają być w Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych AON,
- (metodycznych) umiejętności poprawnego użytkowania dostępnych systemów symulacyjnych. Począwszy od powzięcia merytorycznie uzasadnionej hipotezy merytorycznej, poprzez stosowne dla jej weryfikacji - zaplanowanie eksperymentów symulacyjnych, ich realizację, aż do uzasadnionego wnioskowania, statystycznie potwierdzonego.
- (merytorycznych) ograniczoności określonych systemów symulacyjnych w zakresie indykacji pewnych problemów operacyjno – taktycznych.

1. Symulacyjna metoda badania systemów

1.1. Metody badawcze systemów

Człowiek posiada dwa źródła wiedzy o rzeczywistości: (1) swoje **doświadczenie**: empiryczny kontakt ze światem przez obserwację, eksperyment oraz działania podejmowane w celu uzyskania konkretnych praktycznych efektów oraz (2) swoją **wyobraźnię**, czyli zdolność odgadywania ograniczeń, jakim podlega bieg rzeczy, a więc praw, jakie biegiem tym rządzą.

Obie zdolności, a więc zdolność postrzegania określonych stanów rzeczy, jak i zdolność budowania na podstawie zebranego doświadczenia (lub być może nawet niezależnie od niego) odpowiednich teorii jest immanentną cechą człowieka. W historii filozofii (i filozofii nauki) różni myśliciele przypisywali tym zdolnościom różne znaczenia [6], [20].

Ze względu na charakter prowadzonych rozważań interesować nas będą **systemy działania**. Pod pojęciem **systemu** rozumiemy każdy złożony obiekt wyróżniony z badanej rzeczywistości i stanowiący całość tworzoną przez zbiór elementów i powiązań (relacji) pomiędzy nimi. System, tak rozumiany, jest całością, czyli czymś odmiennym niż przypadkowe zbiorowisko części. Ma określony skład (kompozycję) – czyli zbiór tworzących go elementów oraz strukturę – czyli zbiór istotnych relacji między tymi elementami. **System do byt przejawiający istnienie przez synergiczne współdziałanie swych części**⁴. Natomiast pod pojęciem systemu działania rozumiemy system socjo – techniczny zorientowany celowościowo (teleologicznie).

W tej sytuacji powstaje istotny problem. Jak prowadzić można badania empiryczne takich systemów? Jak dokonywać pomiaru⁵ ważnych (z punktu widzenia celu badawczego) charakterystyk tych systemów? Jak obserwować ich zmiany zachodzące w czasie? Jak wreszcie pozyskiwać można wiarogodne dane statystyczne w wymienionych aspektach? Są to wszystkie pytania należące do sfery **identyfikacji**. Dalej idące potrzeby podmiotu dotyczą **oceny** analizowanego systemu ze względu na wyróżnione kryteria oraz **sterowania** – w jaki sposób uzyskać pożądany skutek. Chcemy bowiem tak wpływać na zmienne wejściowe sys-

⁴ Cempel Cz – *Inżynieria systemów*,

⁵ Ogólnie biorąc istnieje duże przekonanie o możliwości i prawomocności stosowania pomiaru poza dziedziną nauk ścisłych. Natomiast sprawa użytku, jaki można zrobić z danych ilościowych przy formułowaniu twierdzeń kwantytatywnych jest źródłem niejasności i nieporozumień. Nieporozumienia te skupiają się wokół dwóch spraw: różnorodności typów skal oraz związku między typem użytych skal a dopuszczalną postacią zdań, stwierdzających zależności między mierzonymi wielkościami.

temu albo zmienne stanu systemu, aby uzyskać pożądaný efekt na wyjściu. Chcemy określić optymalne sterowanie systemu. Aby odpowiedzieć na te pytania, należy przeprowadzić wszechstronne badania tego systemu.

Aby określić wartości zmiennych systemu i wykryć związki ilościowe pomiędzy nimi należy (1) opracować **formalny model** tego systemu, (2) znaleźć **metodę rozwiązania** problemu.

1.1.1. Modele systemu

Model formalny, najczęściej **matematyczny**⁶ niezbędny jest, aby efektywnie sterować procesami zachodzącymi w systemie, a więc wtedy, kiedy znany być musi jakościowy i ilościowy wpływ określonych czynników na ich realizację. Model taki pozwalać powinien na:

- analizowanie funkcjonowania systemu (lub jego podsystemów) w określonych warunkach;
- projektowanie systemu o określonych wymaganiach;
- wyznaczanie optymalnego sterowania procesami zachodzącymi w rozpatrywanym systemie.

Model matematyczny funkcjonowania badanego systemu opracowywany jest przez podmiot w oparciu o:

- wiedzę o funkcjonowaniu systemów analogicznych lub podobnych;
- ogólną wiedzę teoretyczną o systemach, jak też systemach danej klasy;
- wyniki badań eksperymentalnych na systemie.

Na podstawie wymienionych źródeł informacji o systemie, w wyniku jej **analizy, syntezy, idealizacji i abstrahowania** od wpływu mniej istotnych czynników na funkcjonowanie systemu, opracowuje się **model matematyczny funkcjonowania systemu, który przedstawia się w postaci określonego rodzaju równań formalnych.**

Dla ustalonego systemu realnego podstawową informacją do opracowania jego modelu matematycznego są wyniki z **eksperymentu**. Wyróżnia się dwa rodzaje eksperymentów przeprowadzanych na systemach rzeczywistych: **bierne** i **czynne**. Eksperyment bierny polega na obserwacji wartości określonych wielkości systemu w trakcie jego normalnego funkcjonowa-

⁶ W postaci równania lub układu równań algebraicznych (różnicowych), różniczkowych bądź całkowych.

nia, zaś eksperyment czynny jest planowany i przeprowadzany przy określonych założeniach, w celu zidentyfikowania postaci modelu matematycznego badanego systemu. W eksperymencie planowanym tak dobiera się wartości zmiennych niezależnych (punkty pomiarowe), aby uzyskać model jak najbliższy jego postaci rzeczywistej.

Pojęcie *modelu* jest nierozzerwalnie związane z badaniami paraempirycznymi. 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”.
- „Model oznacza uproszczone odwzorowanie, często połączone z pewną schematyzacją lub stylizacją”.
- „Model jest rezultatem modelowania, tzn. obrazem danego przedmiotu badań, wyrażającym cel badań i wiedzę przedmiotu, przedstawionym w przyjętym języku (kodzie)”.

W analizie systemowej modelowanie jako narzędzie badawcze definiowane jest następująco:

„**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”.

1.1.2. Klasyfikacja modeli matematycznych

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 [18]:

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.

Spotykane w literaturze klasyfikacje modeli matematycznych najczęściej stosują następujące kryteria podziału:

- własności zbioru **X** - elementów składowych modelu;

- interpretacji elementów zbioru składowych modelu;
- własności zbioru \mathbf{R} – relacji określonych pomiędzy elementami X ;
- dostępności informacji o wartościach zmiennych ze zbioru X w chwili podejmowania decyzji (wdrożenia projektu oddziaływania na rzeczywistość).

Mówiąc o własnościach zbioru \mathbf{X} , zwraca się uwagę na własności matematyczne par jego elementów lub własności samych jego elementów lub wyróżnionych jego podzbiorów.

- **Modelem dyskretnym** nazywa się model, w którym wszystkie zbiory X_1, X_2, \dots, X_M są zbiorami dyskretnymi (np. przeliczalnymi).
- **Modelem ciągłym** nazywa się model, w którym wszystkie zbiory X_1, X_2, \dots, X_M są zbiorami ciągłymi (np. zbiorami liczb rzeczywistych).
- **Modele ciąгло-dyskretne**, przykładowo znane w teorii procesów stochastycznych⁷ procesy dyskretne w stanach i ciągle w czasie.

Jeżeli wszystkie pary $\langle X_M, X_M \rangle$ opisują wielkości deterministyczne, to taki model nazywa się **deterministycznym**. Gdy przynajmniej jedna zmienna X_M jest zmienną losową lub procesem stochastycznym, a pozostałe są zmiennymi deterministycznymi, to taki model nazywany jest **probabilistycznym** lub **stochastycznym**. Jeżeli przynajmniej w jednym przypadku wyrażenie X_M należy do zbioru rozmytego X_M i nie występują zmienne losowe, to taki model nazywa się **rozmytym**. Oczywiście mogą występować również modele rozmyto-probabilistyczne, itp.

Z punktu widzenia interpretacji zbioru \mathbf{X} wyróżnia się najczęściej **modele z czasem** i **modele bez czasu**. W pierwszym przypadku jedna ze zmiennych X_M przyporządkowana jest nazwie „czas” występującej w werbalnym opisie cech obiektu.

Z punktu widzenia potrzeb badawczych wyróżnia się **modele korelacyjne**, które zbiorem \mathbf{R} opisują zaobserwowane lub hipotetyczne korelacje⁸ między cechami. Podklasą modeli korelacyjnych są **modele przyczynowo-skutkowe** opisujące rzeczywiście istniejące związki przyczynowo-skutkowe między cechami.

⁷ *Proces stochastyczny (losowy)* – to proces (uporządkowany w czasie zbiór zdarzeń dotyczących określonego przedmiotu), który przebiega we wskazywany sposób z zadanyim prawdopodobieństwem. Dokładnie: dane są prawdopodobieństwa zdarzeń polegających na tym, że w danych chwilach t_1, \dots, t_n stany spełniają warunki W_1, \dots, W_n . Chwilowe stany procesu losowego są więc zmiennymi losowymi, które mają dany łączny rozkład prawdopodobieństwa.

⁸ *Korelacja* – związek pomiędzy dwoma zmiennymi losowymi (dwie zmienne losowe są skorelowane, jeśli wartość średnia jednej z nich zmienia się w zależności od zmian drugiej). Stopień w jakim zmienne losowe są ze sobą związane jest określany przez współczynnik korelacji.

Biorąc pod uwagę własności zależności opisujących zbiór **R** wydziela się :

- **modele liniowe**, w których wszystkie relacje R_i ($i=1,2,\dots, I$) opisywane są zależnościami liniowymi;
- **modele nieliniowe**, w których w których przynajmniej jedna relacja R_i nie jest opisana zależnością liniową.

Wśród modeli z czasem wyróżnia się **modele dynamiczne**, tzn. takie modele, w których wartości przynajmniej jednej zmiennej w ustalonym momencie zależą od wartości zmiennych w przynajmniej jednym poprzednim momencie. Jeżeli ta zależność występuje tylko dla jednego momentu dla każdej zmiennej, to mówi się o **modelach dynamicznych z opóźnieniem**, jeżeli zaś zależy od wielu momentów dla tych samych zmiennych, to takie modele nazywa się **modelami dynamicznymi z akumulacją**. **Modelem statycznym** nazywa się (w odróżnieniu od dynamicznego) model bez czasu lub taki model z czasem, w którym wartości zmiennych dla każdego momentu zależą wyłącznie od wartości innych zmiennych w tym samym momencie lub od zmiennych niezależnych od czasu.

Konceptualizowane modele symulacyjne walki implementowane w systemach walki to najczęściej modele: **dyskretne** (choć realne procesy walki są ciągłe), **probabilistyczne** (rzadziej stochastyczne, ale nie deterministyczne – takie nie są już akceptowane), coraz częściej **przyczynowo – skutkowe** (modelowanie reakcji na zdarzenia (zewnętrzne i wewnętrzne) staje coraz łatwiejsze, dzięki współczesnym technologiom programowania obiektowego), **dynamiczne** (modele niszczenia, ruchu i równania stanu), **liniowe** (choć w konceptualizacji modelu Lanchestera dla opisu oddziaływania zmasowanego w postaci nieliniowej (kwadratowej, logarytmicznej) jest wiele) [14] oraz elementami sztucznej inteligencji

1.2. Istota metody symulacyjnej

1.2.1. Metody rozwiązania problemu

Mając formalny (matematyczny) model pewnego systemu, możemy rozwiązać go dwoma różnymi sposobami. Pierwszy opiera się na dedukcyjnym podejściu, poprzez stosowanie **analizy matematycznej**. Drugi natomiast na postępowaniu indukcyjnym, czyli **analizie numerycznej**.

Rozwiązanie analityczne jest całkowicie ogólne, jak też całkowicie abstrakcyjne. W procedurze analitycznej nie rozważamy każdego poszczególnego zbioru wartości zmiennych sterowanych, ale zdążamy bezpośrednio do rozwiązania⁹. W procedurach numerycznych natomiast wypróbujemy różne wartości zmiennych sterowanych i wybieramy te, które prowadzą do najlepszych wyników. Z przyczyn oczywistych pierwszeństwo daje się procedurom analitycznym wszędzie tam, gdzie dają się zastosować. Niemniej w wielu przypadkach (brak metod analitycznych, duże koszty) stosowanie metod numerycznych daje dobre wyniki.¹⁰

Metody analityczne. W równaniach zawierających tylko jedną zmienną sterowaną, jej wartość optymalną, jeśli istnieje i jest wyznaczana analitycznie¹¹, można wyznaczyć przez różniczkowanie. Znajduje się pochodną zmiennej wynikowej względem zmiennej sterowanej, przyrównuje do zera i rozwiązuje się (twierdzenia dotyczące warunku koniecznego i wystarczającego istnienia ekstremum funkcji). Jeżeli jest więcej niż jedna zmienna sterowana, to znajduje się pochodną cząstkową zmiennej wynikowej względem każdej zmiennej sterowanej i przyrównuje się ją do zera. Wówczas przy zachowaniu pewnych warunków, rozwiązanie powstałego układu równań prowadzi do wyznaczenia optymalnych wartości zmiennych sterowanych. Gdy wartości zmiennych sterowanych są ograniczone przez jedno lub więcej równań bądź nierówności i gdy tych ograniczeń jest niewiele, możemy użyć mnożników Lagrange'a. Jeżeli chcemy znaleźć wartość optymalną pewnej funkcji, a nie zmiennej, to należy zastosować rachunek wariacyjny. Niemniej, niewiele problemów tej klasy potrafimy rozwiązać analitycznie. Wtedy metody numeryczne są jak najbardziej w cenie.

Metody numeryczne. Można powiedzieć, że wywodzą się z metody „prób i błędów”, tyle, że w metodach numerycznych zagwarantowano zbieżność do rozwiązania. Metoda, która zmierza do rozwiązania w kolejnych krokach, nazywana jest *iteracyjną*. **Wszystkie metody programowania matematycznego są iteracyjne.** Wysiłki uczonych koncentrują się na opracowywaniu algorytmów o możliwie najmniejszej złożoności obliczeniowej (tak teoretycznej, jak i praktycznej) przy zachowaniu przez nie, przynajmniej stabilności numerycznej, a najlepiej – poprawności numerycznej.

⁹ Na mocy twierdzeń i metod udowodnionych jako poprawne w tzw. konstruktywnym nurcie matematyki.

¹⁰ Nie odnosimy się tutaj do aspektów metodycznych wyboru najlepszej metody analitycznej czy numerycznej, którą należy zastosować do uzyskania rozwiązania na podstawie modelu.

¹¹ W nurcie konstruktywnym matematyki, gdzie (udowodnione) orzeczenia o istnieniu czegoś nie są wystarczające. Niezbędna jest metoda, za pomocą której rozwiązanie takie można określić.

Metody symulacyjne¹². Mają zastosowanie wtedy, kiedy miara stopnia osiągnięcia celu jest parametrem statystycznym pewnego rozkładu wyników. W tych przypadkach wartości optymalne zmiennych sterowanych nie mogą być uzyskane na podstawie modeli ani analizą abstrakcyjną, ani analizą numeryczną. W analizie numerycznej wartości liczbowe zmiennych sterowanych i nie sterowanych są zawarte w modelu, a wynik jest obliczany za pomocą operacji arytmetycznych. Wypróbując pewną liczbę możliwych rozwiązań można zidentyfikować i wybrać najlepsze (lub w przybliżeniu najlepsze). Stosując symulację także, ogólnie biorąc, wypróbujemy pewną liczbę rozwiązań, ale jej odmiennosć od zwykłej metody numerycznej polega na sposobie, w jaki każde z rozwiązań jest obliczane. Obliczanie lub sprawdzanie proponowanego rozwiązania modelu za pomocą symulacji polega na prześledzeniu systemu dla pewnego zbioru wartości zmiennych sterowanych, w celu wytworzenia dostatecznej liczby realizacji wyników tak, aby, można było wyznaczyć ich rozkład. Na podstawie tych „obserwacji” oszacowuje się szukany parametr.

1.2.2. Symulacyjna metoda badawcza

Symulacja jest to proces konstruowania historii stanów¹³. Dokładniej **symulacja - to konstruowanie w chronologicznym porządku opisów stanów** tworzących historię stanów. Taka metoda może być na przykład przeciwstawiona możliwości generowania informacji do historii stanów w porządku innym niż chronologiczny, a następnie składania lub organizowania tych informacji 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, iż tak otrzymana historia jest historią stanów modelowanego systemu. Mając więc system oraz jego model można powiedzieć, że symulacja jest to zastosowanie modelu w celu chronologicznego wygenerowania historii stanów tegoż modelu, która jest uważana za historię stanów modelowanego systemu. Kontynuując tok myślenia, można powiedzieć, że modelowaniem symulacyjnym nazywa się proces budowy modelu systemu rzeczywistego oraz przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych na tym modelu w celu poznania zachowania się systemu pod wpływem wewnętrznych i zewnętrznych czynników lub dokonania oceny strategii zapewniających funkcjonowa-

¹² Symulacja jest w istocie eksperymentowaniem nie tyle z samym zjawiskiem, ile raczej z jego modelem, czyli jest ona eksperymentowaniem zastępczym.

¹³ *Stan systemu (modelu)* – to najmniejsza liczba danych, których znajomość w danej chwili, przy znajomości wielkości wejściowych, począwszy od tej chwili – pozwala jednoznacznie określić stan i wielkości wyjściowe systemu (modelu) w przyszłości.

nie 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, który w jednych elementach jest zgodny z systemem rzeczywistym, w innych zaś różni się od niego¹⁴ i który jest badany przy pomocy różnych metod i środków. Wyniki uzyskane z eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych na modelu są przenoszone drogą wnioskowania¹⁵ przez analogię¹⁶ 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 [7]. 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.**

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;

¹⁴ Model powinien być w relacji homeomorfizmu z oryginałem, który opisuje. Stopień spełnienia tej relacji określa się oceniając adekwatność modelu do oryginału.

¹⁵ *Wnioskowanie* – ogólnie mówiąc - jest aktem uznania pewnego zdania (zwanego wnioskiem lub konkluzją) na podstawie pewnych innych, wcześniej uznanych zdań (zwanych przesłankami tego wniosku).

¹⁶ *Wnioskowanie przez analogię* – to taki rodzaj rozumowania, w którym na podstawie przesłanek stwierdzających, że jakies kolejno napotkane przedmioty pewnego rodzaju, a więc przedmioty podobne do siebie pod wieloma względami, miały pewną określoną własność, wyprowadzamy wniosek, że następny napotkany przedmiot tego rodzaju będzie również posiadał tę własność. (Nie jest to zatem wnioskuwanie *dedukcyjne*, ani *indukcyjne*)

- stosować 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:

- opis systemu przedmiotowego;
- odtworzenia zachowania się systemu w przeszłości (tzw. symulacja odtwarzająca);
- odwzorowania działania systemu aktualnie funkcjonującego (tzw. symulacja bieżąca);
- przewidywania działania badanego systemu w przyszłości (tzw. symulacja prognozy);
- Nauczania aktualnej teorii systemu.

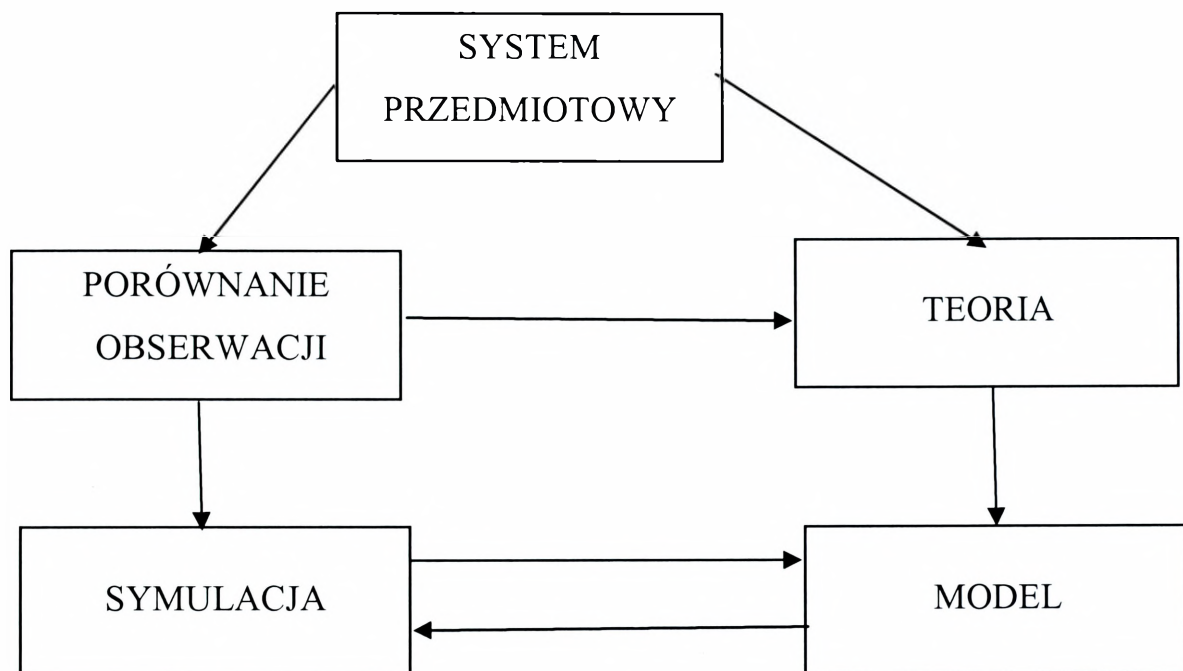
Symulacja jest to działanie modelu przedmiotowego, realizowane w określonym celu badawczym. Model systemu przedmiotowego jest to model systemu, który chcemy poznać, jest on przedmiotem badania czy doświadczenia.

Pod pojęciem symulacji należy rozumieć zbudowanie, a następnie przeprowadzenie eksperymentów na abstrakcyjnym modelu¹⁷ badanego systemu, przy czym model oznacza tu mniej lub bardziej dokładne odwzorowanie formalne systemu rzeczywistego. Takie ujęcie symulacji powoduje, że zebrane w trakcie symulacji na modelu wnioski możemy odnieść do systemu przedmiotowego, a tym samym wynikającego z niego modelu. Doprowadza to do iteracyjnej metody badawczej, w której zmiany obejmują także model i jego nowa wersja zostaje poddana symulacji. Sytuację taką przedstawia rys.1.

Niezbędnym warunkiem przydatności symulacji jest **relacja izomorfizmu¹⁸**, jaka powinna zachodzić między modelem i systemem przedmiotowym. Można wówczas wnioskować o dynamice modelowanego systemu na podstawie jego zachowania. Model powinien odzwierciedlać w możliwie wierny sposób system przedmiotowy, jednak zależny od charakteru modelu lub prowadzonych badań.

¹⁷ Ogólnie teoretycznie, model traktuje się jako konkretyzację i interpretację określonej teorii (dotyczącej pewnego fragmentu rzeczywistości, nazywanej systemem przedmiotowym). Interpretację teorii nazywa się modelowaniem.

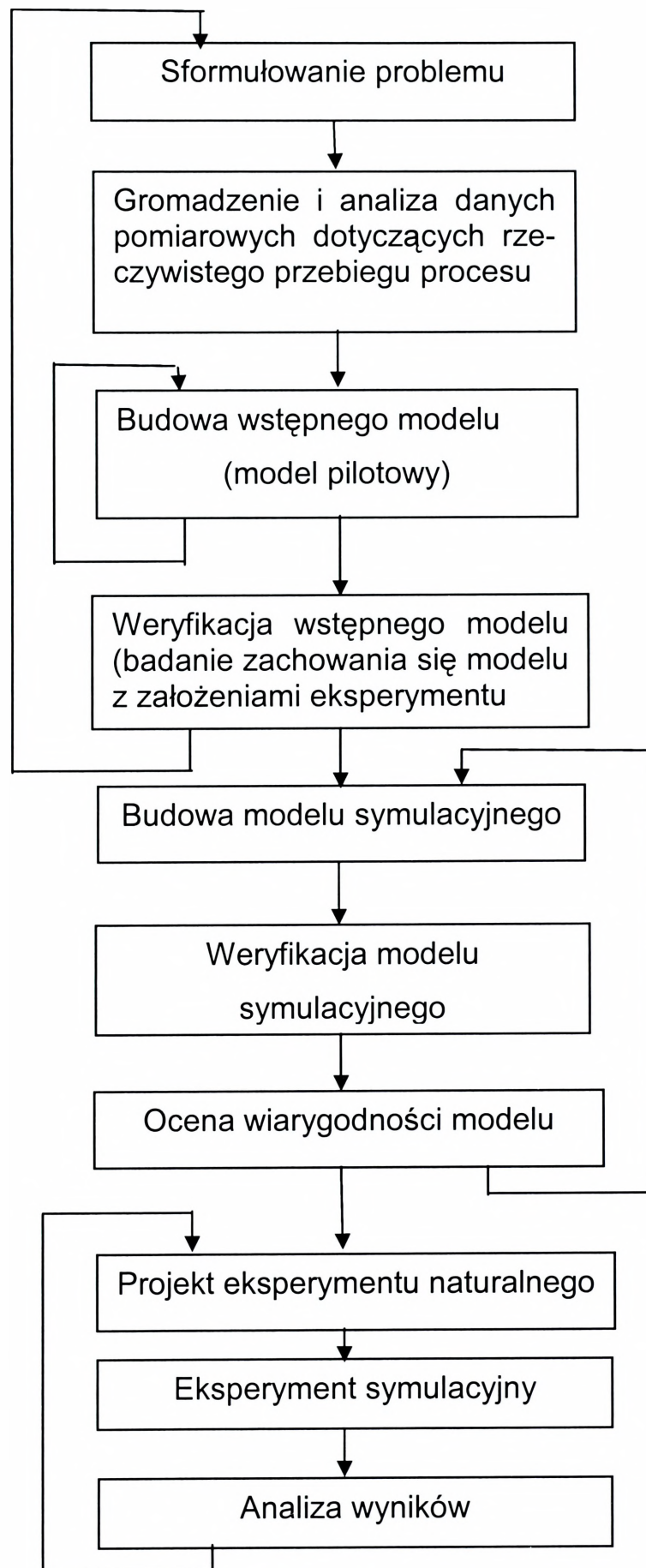
¹⁸ *Relacja izomorfizmu* – relacja tożsamości (zwrotna, symetryczna, przechodnia) modelu i systemu w dowolnym aspekcie: strukturalnym, funkcjonalnym, rozwojowym.



Rysunek 1. System przedmiotowy, model, symulacja.

Przeprowadzenie symulacji komputerowej w sposób efektywny wymaga podporządkowania się pewnym zasadom, które sformułować można następująco (dokładniej: rys.2)

- Sformułowanie problemu,
- Matematyczna formalizacja modelu,
- Implementacja modelu do postaci systemu,
- Właściwa symulacja,
- Weryfikacja adekwatności modelu,
- Analiza i interpretacja wyników symulacji.



Rysunek 2. Procedura badania symulacyjnego.

W większości przypadków podczas analizy systemów powstają modele matematyczne, które reprezentują system za pomocą logicznych i kwantyfikatorowych relacji. Relacjami tymi manipuluje się w ten sposób, aby określić jak model reaguje na zmiany, a więc jak zachowałby się istniejący system, pod warunkiem, że model matematyczny jest odpowiednio zaprojektowany.

Zbudowany **model matematyczny musi zostać przeanalizowany w celu sprawdzenia, czy może być zastosowany do opisu badanego systemu**. Jeśli model jest wystarczająco prosty, istnieje możliwość zbadania działania systemu przy pomocy metod matematycznych i otrzymania w ten sposób rozwiązania analitycznego. Niektóre metody analityczne mogą być jednak niezwykle rozbudowane, co pociągałoby za sobą olbrzymią liczbę obliczeń. Znane są także przykłady, kiedy matematyczna formuła znana jest doskonale, ale jego rozwiązania dalekie jest od prostoty.

W przypadku, kiedy model matematyczny jest znany, a związane z nim obliczenia nie są zbyt skomplikowane, zazwyczaj zaleca się, aby zamiast symulacji wybrać drogę analityczną. Jednakże, wiele systemów ma tak wysoki stopień złożoności, że ich matematyczne modele wykluczają możliwość analitycznego rozważania. Wtedy badany model musi być analizowany symulacyjnie.

Procesy, które chcemy badać w oparciu o modele musimy najpierw opisać. Sposób opisu zależy z jednej strony od środków opisu, którymi dysponujemy, z drugiej strony - od potrzeb. Środki opisu wyznaczone są przez język - aparat matematyczny, którym potrafimy skutecznie posługiwać się. Potrzeby wynikają z celu badań procesów (systemu) i przyjętej metody osiągnięcia celu. Jeżeli chcemy badać system, na podstawie obserwacji procesów analogicznych (w sensie mechanizmu procesu) do zachodzących w systemie, to zmuszeni jesteśmy je odtwarzać - symulować. Symulację przeprowadza się najczęściej przy użyciu komputerów. W badaniu procesów zachodzących w systemie metodami symulacji cyfrowej wyróżniamy dwa podstawowe, równoległe przebiegające procesy:

1. symulacja procesu badanego;
2. obserwacja wartości określonych wielkości procesu symulowanego. Wyniki obserwacji stanowią dane do statystycznego wnioskowania o wartościach interesujących nas charakterystyk.

W trakcie projektowania modelu systemu dynamicznego, projektant musi tak rozpoznać i przedstawić zdarzenia aby umożliwić symulacji naśladowanie zachowania rzeczywi-

stego systemu. Rzeczywiste działania muszą być tak modelowane by zmiany stanu systemu następowały kiedy zajdzie następne zdarzenie. Zdarzenia muszą być wykonywane w określonej sekwencji odpowiadającej kolejności zdarzeń w systemie rzeczywistym.

1.2.2.1. Symulacja badanego procesu

Początkowo rozporządzamy zwykle opisem procesu badanego w języku potocznym. Na tej podstawie staramy się opisać proces formalnie tak, aby otrzymać algorytm tej symulacji w postaci umożliwiającej jego zapis w ustalonym języku programowania.

W najbardziej ogólnym przypadku przebieg procesu jest wypadkową działania pewnego mechanizmu wewnętrznego oraz pewnych czynników zewnętrznych. Poniżej przedstawimy sposób opisu mechanizmu wewnętrznego, tzn. opisu praw procesu.

Ograniczając rozważania nad badaniami symulacyjnymi do metody symulacji cyfrowej, procesy zachodzące w systemach badanych będziemy opisywać procesami dyskretnymi w stanach i w czasie.

Procesem dyskretnym w czasie nazywamy proces, dla którego zbiór wartości wyróżnionych w chwilach T jest przeliczalny, zaś procesem dyskretnym w stanach nazywamy proces, dla którego zbiór stanów S jest przeliczalny. Zmiany stanu procesu dyskretnego nazywamy zdarzeniami.

1.2.2.2. Obserwacja realizacji określonych wielkości w procesie symulacji

Symulacja procesu rzeczywistego nie dostarczy badającemu żadnych informacji o badanym systemie, jeżeli nie zostanie zorganizowana odpowiednia (zgodnie z celem badań) obserwacja procesu symulacyjnego (modelu symulacyjnego).

Stan modelu symulacyjnego oraz czasy znajdowania się systemu w określonych stanach mogą być obserwowane z inną dokładnością niż są generowane w procesie obliczeniowym algorytmu symulacyjnego. Historię stanów (ciąg wartości obserwowanych) na podstawie obserwacji modelu symulacyjnego wyznacza się za pomocą funkcji obserwacji zmiany stanu:

$$\Phi^0 : X = T \times S \rightarrow \hat{Y}$$

gdzie: \hat{Y} oznacza zbiór wyników obserwacji określonych wielkości modelu symulacyjnego.

W szczególnym przypadku, gdy obserwacja dokonywana jest z taką samą dokładnością, z jaką generowany jest ciąg: x_0, x_1, x_2, \dots , to ciąg wyników obserwacji może być równy: $y_0=x_0, y_1=x_1, y_2=x_2, \dots$

1.2.2.3. *Eksperyment symulacyjny.*

Badanie procesów zachodzących w systemie rzeczywistym w oparciu o ich model symulacyjny opisuje funkcja:

$$G^e = (G, G^0)$$

będąca złożeniem funkcji przejścia i funkcji obserwacji modelu symulacyjnego.

Parę

$$A^e = (X^e, G^e)$$

gdzie: $X^e = X \times \hat{Y}$ nazywamy **algorytmem symulacyjnego badania systemu**.

Algorytm symulacyjnego badania systemu zapisany w języku programowania nazywa się **programem badania symulacyjnego systemu**. Eksperyment przeprowadzony przy wykorzystaniu algorytmu symulacyjnego badania systemu nazywamy **eksperymentem symulacyjnym**.

Celem eksperymentu symulacyjnego jest **wnioskowanie statystyczne**¹⁹ o wartościach określonych charakterystyk systemu rzeczywistego i związkach zachodzących między nimi. Zaplanowanie i organizacja eksperymentu symulacyjnego, podobnie jak i realizacja eksperymentu na systemie rzeczywistym, należy do podmiotu badającego system.

Podczas eksperymentu symulacyjnego obserwowany jest model symulacyjny systemu, a dokładnie proces (procesy) zachodzące w badanym systemie. Wyniki obserwacji uzyskane podczas eksperymentu symulacyjnego są danymi (empirycznymi) przeznaczonymi do analizy i statystycznego wnioskowania o wartościach charakterystyk badanego systemu i związkach zachodzących między nimi.

1.2.3. **Porównanie metod badania systemów**

Symulacyjna metoda badania systemów jest skojarzeniem metody analitycznej z metodą eksperymetalną. Opracowując algorytm symulacji, w istocie rzeczy, opisuje się

¹⁹ *Wnioskowanie statystyczne* – to taki rodzaj rozumowania, w którym wniosek o charakterze probabilistycznym (czyli z określonym prawdopodobieństwem) dotyczy nie pojedynczych przedmiotów czy zdarzeń, ale odnosi się do całego zbioru pewnych elementów, nazywanego populacją (generalną). Wniosek tego typu wskazuje zwykle wartość pewnej liczby, charakteryzującej jakąś cechę rozważanego zbioru. Wartości takie nazywają się **parametrami statystycznymi**.

formalnie mechanizm badanego systemu działania (głównego jego procesu): podobnie jak przy stosowaniu metody analitycznej. Niemniej sposób uzyskania rozwiązania jest zupełnie odmienny (p.1.2.1.). W celu przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego, algorytm symulacji uzupełnia się (rozszerza) o funkcje obserwacji określonych wielkości symulowanego procesu. Uzyskuje się w ten sposób algorytm symulacyjnego badania systemu. **Uzyskiwanie wyników jest takie samo jak przy eksperymentalnym badaniu systemu rzeczywistego**, z tym, że proces rzeczywisty zastępuje się jego modelem symulacyjnym (obliczeniami symulacyjnymi).

Algorytm symulacji służy jedynie do odtwarzania przebiegu badanego procesu, więc jego złożoność nie powinna powodować istotnych trudności w oszacowaniu wartości określonych charakterystyk i związków zachodzących między nimi.

Ze specyfiki symulacyjnej metody badania systemów wynikają jej pewne wady zarówno w stosunku do badania eksperymentalnego systemu rzeczywistego, jak i do metody analitycznej (jeżeli oceniać będziemy jednokryterialnie, tj. z punktu widzenia „jakości” uzyskanego rozwiązania – mówiąc w ogólności).

Po pierwsze, opis mechanizmu procesu badanego odpowiada rzeczywistości tylko z pewnym przybliżeniem, co może wywierać ujemny wpływ na uzyskane wyniki (ale też może być jedynym możliwym rozwiązaniem problemu). W związku z powyższym wylania się problem weryfikacji adekwatności opisu mechanizmu procesu (algorytmu symulacyjnego) do procesów zachodzących w systemie realnym.

Po drugie, wyniki uzyskuje się w postaci histogramów lub wartości określonych charakterystyk, zachodzi więc konieczność opracowywania wyników po zakończeniu eksperymentu symulacyjnego lub po zakończeniu badania symulacyjnego. Ale poniesiony trud aproksymacji (i obróbki) uzyskanych wyników umożliwia rozwiązanie problemu w ogóle. W tabeli 1. przedstawione zostały charakterystyki porównawcze analitycznej i symulacyjnej metody badania systemów.

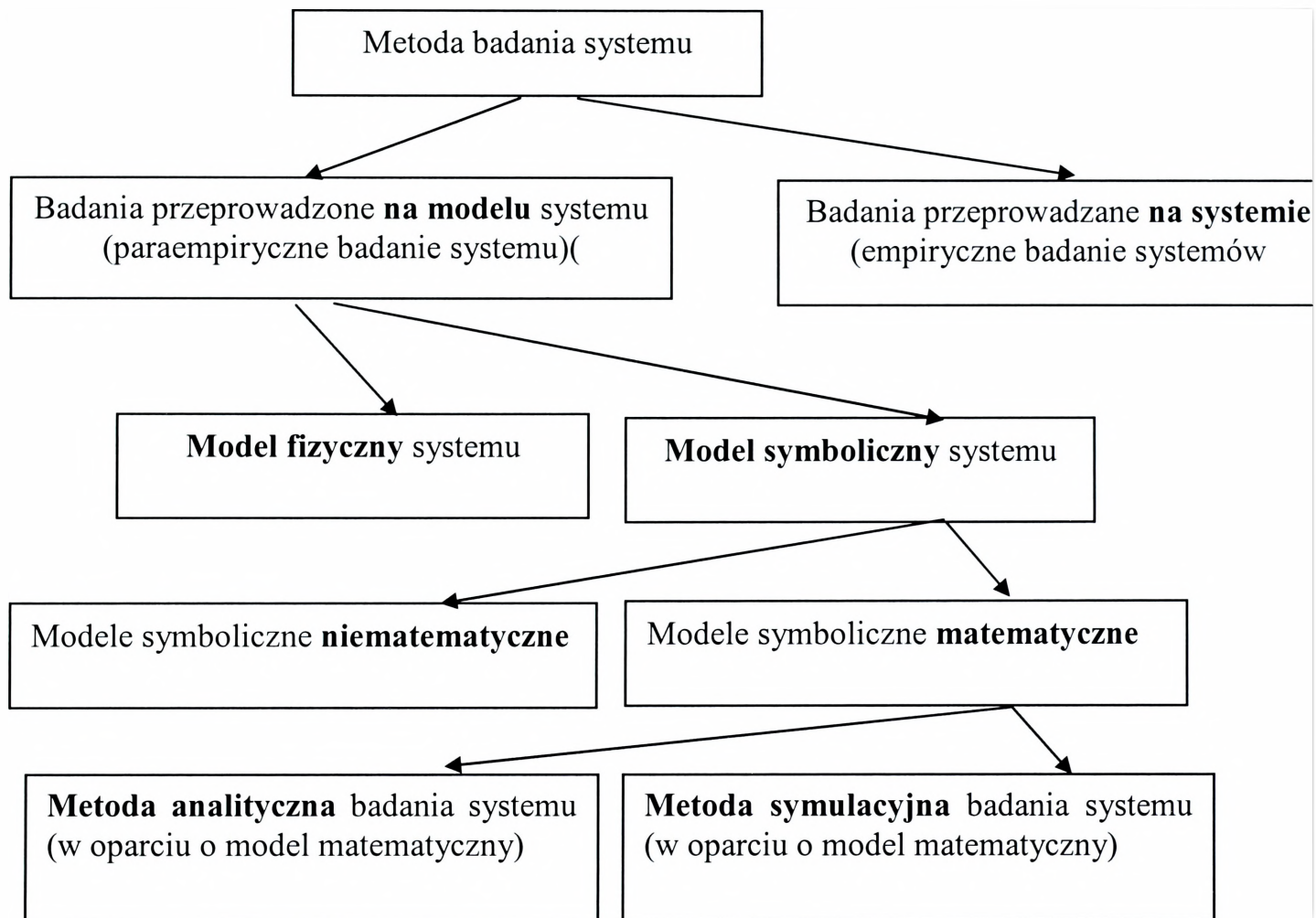
Tabela 1.

Porównanie wybranych charakterystyk analitycznej i symulacyjnej metody badania systemów

Metoda badania systemu	
Analityczna	Symulacyjna
1. Model	
Model jest zazwyczaj układem równań opisującym proces zachodzący w badanym systemie. Zmiany założeń, dotyczące mechanizmu procesu, mogą istotnie wpływać na sposób i możliwość rozwiązania problemu	Złożoność algorytmu symulacji funkcjonowania systemu w niewielkim stopniu wpływa na możliwość rozwiązywania problemu. Zmiany właściwości procesu symulacyjnego wyrażają się jedynie w zmianie postaci funkcji opisujących te właściwości. Może jednakże wzrosnąć czas opracowania algorytmu badania symulacyjnego oraz czas trwania eksperymentu.
2. Adekwatność modelu	
Adekwatność modelu badanego systemu uwarunkowana jest możliwością analitycznego wyznaczenia interesujących zależności. W wielu przypadkach nie można opracować adekwatnego modelu systemu, w oparciu o który można byłoby uzyskać rozwiązanie problemu.	Adekwatność modelu symulacyjnego do procesu rzeczywistego wynika, ze (.) znajomością mechanizmu badanego procesu (praw fizycznych), (..) możliwości opisu tego mechanizmu za pomocą języków posiadających implementację na dostępnych komputerach oraz możliwości tych komputerów.
3. Rozwiązanie problemu	
Interesujące charakterystyki systemu podawane są w postaci wzorów, wykresów lub tabel.	Otrzymuje się oszacowanie pożądanych charakterystyk w postaci tabel lub wykresów. Zależności funkcyjne (w postaci wzorów), uzyskuje się wykorzystując aparat statystyki matematycznej, np. analiza regresji.
4. Interpretacja wyników	
Rozwiązanie problemu uzyskane w postaci wzorów jest dogodnie do analizy funkcjonowania systemu. Bezpośrednio widoczny jest wpływ poszczególnych wielkości na charakterystyki badanych systemów.	Wykresy są komunikatywną formą przedstawiania wyników. Dokonanie analizy wpływu określonych wielkości na interesujące charakterystyki wymaga przeprowadzenia znacznej liczby eksperymentów symulacyjnych (przy minimalnych założeniach)
5. Dokładność wyników	
Zgodność uzyskanych wyników badań z rzeczywistymi wartościami charakterystyk zależy od: <ul style="list-style-type: none"> • adekwatności modelu 	Zgodność uzyskanych wyników badań z rzeczywistymi wartościami charakterystyk zależy od: <ul style="list-style-type: none"> • adekwatności modelu symulacyjnego; • przyjętych statystyk do oszacowania określonych charakterystyk; • liczby obserwacji wartości estymowanej wielkości. Np. prawdopodobieństwa zajęcia resursu od liczby obserwacji

Zwraca się uwagę, że przedstawione porównanie metod badania systemu ma na celu nie przeciwstawianie ich sobie, lecz wyeksponowanie ich właściwości, których znajomość pozwoli stosować właściwą metodę przy rozwiązywaniu określonego problemu.

Miejsce metody symulacyjnej badania systemów wśród innych metod ilustruje rys.3.



Rysunek 3. Metoda symulacyjna w zbiorze innych metod badawczych

2. Systemy symulacyjne walki

2.1. Istota modelu symulacyjnego

Przypomnijmy, że **badanie symulacyjne** modelu matematycznego stosujemy zawsze wówczas, kiedy jego rozwiązanie analityczne nie jest możliwe, ze względu na wysoki stopień jego złożoności formalnej albo znane rozwiązanie analityczne pociąga za sobą olbrzymią liczbę obliczeń. Kiedy zatem decydujemy, że opracowany model matematyczny badanego systemu poddamy eksperymentom symulacyjnym, wtedy należy dokonać wyboru narzędzia odpowiedniego do specyfiki analizowanego problemu.

Określenie w modelu zdarzeń dyskretnych i (procesów) ciągłych istotnie wpływających na zmienne stanu (lub zmienne obserwowalne) pozwalają określić przedziały jednorodnego stanu systemu i powodują, że mamy do czynienia z **symulacją ciągłą lub symulacją zdarzeń dyskretnych**.

Jeżeli w systemie zmiana czasu nie ma wpływu na wynik eksperymentu, to mamy do czynienia ze **stacycznym modelem symulacyjnym**. Przykładem takich metod symulacyjnych jest klasa metod Monte Carlo. Natomiast **dynamiczne modele symulacyjne**, to modele w których upływ czasu ma istotne znaczenie, np. stan modelu zmienia się sukcesywnie.

Symulacja stochastyczna opiera się na procesach stochastycznych, to znaczy takich, które zbudowane są z sekwencji losowo wygenerowanych wartości. **Modele symulacji deterministycznej**, to takie modele, w których nie wykorzystuje się zdarzeń losowych. Przebieg eksperymentu symulacyjnego nie podlega prawom prawdopodobieństwa.

Model symulacyjny to jakikolwiek związek funkcyjny (relacyjny) wyróżnionych zmiennych modelu, w którym przynajmniej jedna zmienna niekontrolowana (nie decyzyjna) jest zmienną losową.

2.2. Charakterystyka symulacyjnych systemów walki

Aktualnie na wyposażeniu CSiKGW znajdują się dwa systemy symulacyjne: JTLS (p.2.2.3), który jest rozpoznawany przez oficerów od początku 2004 roku, oraz SSWSO „Złocień” (p.2.2.2), którego wdrożenie rozpocznie się w 2005 roku, po uzyskaniu wymaganych urządzeń sprzętowych i licencjonowanego oprogramowania²⁰. Jedyne realne próby, jakie autorzy przeprowadzić mogli, realizowane były na systemie JTLS. Między innymi wybrane epizody ćwiczenia „Pierścień 2004” realizowane były w środowisku systemu JTLS. Natomiast realizacja eksperymentów symulacyjnych, jakie autorzy zamierzali przeprowadzić na systemie „Złocień” nie mogła być zrealizowana ze względów technologicznych. Zatem jedynie doświadczenia nabyte podczas realizacji eksperymentów symulacyjnych na systemie JTLS stały się podstawą weryfikacji wiedzy teoretycznej autorów i, na ile to było możliwe, oceny funkcjonalności operacyjnej i informatycznej systemów.

Poniżej przedstawiono podstawowe moduły, które powinien zawierać każdy symulacyjny system walki, który ma spełniać aktualne standardy, a następnie dokonano charakterystyki funkcjonalnej SSWSO „Złocień” oraz systemu JTLS, które są aktualnie na wyposażeniu CSiKGW.

2.2.1. Podstawowe moduły systemu symulacyjnego walki

W symulacyjnych systemach walki odwzorowane są **obiekty** (ich stan i struktura) walczące oraz **procesy** (akcji i reakcji) zachodzące pomiędzy nimi na polu walki (w określonej sytuacji operacyjno – taktycznej i w określonym środowisku).

W takich systemach przeprowadza się symulację działań bojowych stron zgodnie z decyzjami operacyjno - taktycznymi stron, uzyskując wyniki - w postaci strat stron i ruchu obiektów w terenie, czyli otrzymując skutki podjętych decyzji.

Podstawą **modelu symulacyjnego walki** są **modele podstawowe**. Modele te posiadają naturę fizyczną i symulują rzeczywiste działania obiektów. Opracowane zostały w postaci modeli matematycznych. W zależności od potrzeb używają również **modeli specjalizowa-**

²⁰ Funkcjonalności operacyjne i informatyczne systemu „Złocień” poznane zostały w trakcie badań kwalifikacyjnych systemu, w których uczestniczył jeden oficer z zespołu autorskiego opracowania.

nych. Ich implementacja w zaawansowanym technologicznie środowisku programistycznym powinna zapewnić uzyskanie wiarygodnych wirtualnych sytuacji taktycznych, zbliżonych do sytuacji taktycznych rzeczywistego pola walki.

Wyróżnia się następujące modele podstawowe:

1. Model ruchu,
2. Model ognia bezpośredniego,
3. Model terenu,
4. Model środowiska,
5. Model taktycznych zasad walki,

1. Model ruchu (przemieszczenia wojsk podczas walki)

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

- ponoszone straty podczas walki,
- warunki terenowe,
- warunki atmosferyczne,
- porę doby,
- możliwości techniczne wozów bojowych i innych pojazdów.

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

2. 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.

3. Model terenu

Model opiera się na:

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

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

4. 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.

5. Model taktycznych zasad walki

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

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

Wyróżnia się następujące modele specjalistyczne:

1. model rozpoznania;
2. model wojsk zmechanizowanych i pancernych;
3. model artylerii;

4. model uderzeń lotnictwa - samolotów;
5. model uderzeń lotnictwa wojsk lądowych – śmigłowców;
6. model logistyki (zużycia amunicji i mps);
7. 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.

1. Model rozpoznania

Model rozpoznania spełnia dwie zasadnicze funkcje:

- rozpoznanie i wykrywanie celów dla walczących obiektów. Jest rozpoznaniem prowadzonym przez obiekty i jest głównie oparta na rozpoznaniu wzrokowym i służy dla modelu ognia bezpośredniego. Prawdopodobieństwo wykrycia obiektów przeciwnika zależy od: odległości, warunków terenowych, pogody, pory doby, posiadanych na wyposażeniu obiektu przyrządów.
- rozpoznanie i wykrywanie obiektów przeciwnika i informowanie o wynikach operatora, który na ich podstawie planuje i organizuje działanie podległych wojsk. Prowadzenie tego typu rozpoznania uzależnione jest od operatora, od posiadanych obiektów rozpoznawczych oraz przydzielonego mu limitu rozpoznania lotniczego. Zwykle dotyczy to rozpoznania prowadzonego przez bezpilotowe jak również pilotowe środki rozpoznania lotniczego. Rozpoznanie to jak również informacje od kierownictwa ćwiczenia są dla operatora ćwiczącego sztabu wskazówką, co do zamiarów przeciwnika.

Wyróżnia się następujące poziomy wykrywania (rozpoznania):

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

2. Model wojsk zmechanizowanych i pancernych

W modelu wojsk zmechanizowanych i pancernych rozróżnia się działanie:

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

3. 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, 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.

4. 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:

- polegający na wskazaniu celu lub wielu celów ataku. Cele te są wcześniej rozpoznane i jest to konkretne zadanie dla lotnictwa.

- polegający 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.

5. 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.

6. Model logistyki

Model logistyki ogranicza się jedynie do:

- modelu zużycia materiałów pędnych (mps). Obliczenia w modelu opierają się na normach zużycia tych materiałów przez obiekty podstawowe podczas różnych form działania i ich intensywności. Obliczenia mają charakter pewnego przybliżenia do rzeczywistego zużycia. Niemniej pozwala to zwrócić uwagę na istotny czynnik powodzenia w walce. Brak materiałów pędnych zatrzymuje obiekty w miejscu i ogranicza skuteczność prowadzenia ognia z jednej strony, a wystawia na łatwiejsze zniszczenie przez przeciwnika. Stan mps podległych obiektów operator może odczytać w każdej chwili.
- modelu zużycia amunicji. Obliczenia w modelu ograniczają się do rejestrowania zużycia amunicji podczas walki. Zużycie zależy od intensywności prowadzonego ognia,

którą z kolei zarządza operator. Gdy zapas amunicji maleje poniżej 50% model sam zmniejsza intensywność ognia.

- model uzupełniania mps i amunicji nie odzwierciedla całego procesu zaopatrzenia i uzupełniania. Jest on jedynie pewną imitacją tego procesu. Pozwala on operatorom na zamawianie mps i amunicji u przełożonego do najwyższego szczebla ćwiczenia włącznie, który zamówienie składa w kierownictwie ćwiczenia. Zmusza to ćwiczące sztaby do częściowego realizowania procesu zaopatrzenia. Kierownictwo ćwiczenia po określonym czasie przydziela amunicję i mps po kolei wszystkim ćwiczącym obiektom bezpośrednio uzupełniając w bazie danych 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.

7. Model inżynieryjny

W modelu inżynieryjnym 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 inżynieryjnego na wykonanie przejść w polu minowym. Czas rozminowania zależy od rodzaju min, wielkości pola minowego oraz od sposobu rozminowania,

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

2.2.2. System Symulacyjnego Wspomagania Szkolenia Operacyjnego „Złocień”

System symulacyjnego wspomagania szkolenia operacyjnego (SSWSO) „Złocień” został opracowany na Wydziale Cybernetyki WAT przy współpracy Wydziału Wojsk Lądowych AON. System ten przeznaczony jest przede wszystkim dla Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych, w którym realizowane będą między innymi szkolenia dowódców i sztabów na różnych szczeblach dowodzenia. Aktualnie, po zrealizowanych badaniach kwalifikacyjnych, system jest na etapie wdrażania.

Podstawowym zadaniem SSWSO „Złocień” wspomaganie ćwiczeń CAX na realizowanych na szczeblu dowódców brygady, dywizji i korpusu poprzez umożliwienie realizacji następujących funkcji:

- symulowanie działania podległych wojsk zgodnie z zadaniami postawionymi przez sztaby i uwzględniające przy tym możliwości tych wojsk oraz warunki działania;
- wspomaganie procesu planowania i kierowania wojskami realizowanego przez sztaby na podstawie analizy wyników symulowanych konfliktów;
- udostępnienie narzędzi badawczych w celu optymalizacji struktur wojsk oraz sposobu ich użycia w operacjach na podstawie analizy wyników z symulacji operacji i walki.

W systemie zostały zaimplementowane następujące modele i algorytmy operacji i walki:

- a) struktura pola walki;
- b) stan ilościowy i jakościowy stron konfliktu;
- c) dekompozycja na jednostki podstawowe i złożone (elementarne i wyższych szczebli) – unifikacja opisu;
- d) stan jednostki;
- e) modele podstawowe i złożone decyzji na szczeblu elementarnym i wyższym;
- f) algorytmy działania różnego typu jednostek;
- g) odwzorowanie otoczenia – teren, warunki meteo.

1. Struktura stron sytuacji konfliktowej, która zawiera:

- zakres algorytmizacji operacji i walki;
- strukturę pola walki i stron konfliktu.

2. Modele jednostek podstawowych i algorytmy ich działań z odwzorowaniem wpływu warunków otoczenia (terenowych i innych) takie jak:

- Model otoczenia pola walki;
- Zunifikowany model jednostki podstawowej;
- Modele i algorytmy jednostek walczących;
- Modele i algorytmy jednostek dowodzenia i łączności;
- Modele i algorytmy jednostek artylerii;
- Modele i algorytmy jednostek artylerii przeciwlotniczej;
- Modele i algorytmy jednostek WRE;
- Modele i algorytmy jednostek rozpoznania;
- Modele i algorytmy jednostek lotnictwa wojsk lądowych ;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia materiałowego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia technicznego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia inżynieryjnego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia przeciwchemicznego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia medycznego;
- Modele i algorytmy oddziaływania marynarki wojennej.

3. Modele jednostek złożonych i algorytmy ich funkcjonowania

- Modele i algorytmy złożonych jednostek walczących;
- Modele i algorytmy złożonych jednostek wspierających;
- Modele i algorytmy złożonych jednostek zabezpieczenia działań bojowych.

4. Model otoczenia - model wyznaczanie charakterystyk terenu na podstawie zawartości informacyjnej mapy cyfrowej obejmujący:

- sieć terenu w oparciu o podział na kwadraty o regularnych bokach (przyjęto długość boku kwadratu na poziomie szerokości nacierającego plutonu, tj. około 200m);
- modele sieci budowane są w oparciu o sieć drogowo-kolejową w terenie opracowaną dla potrzeb ćwiczenia z mapy cyfrowej.

5. Model i algorytmizacja zmian wektora stanu warunków atmosferycznych.

Charakterystyka procesów symulacji

Symulacja działań podstawowej jednostki walczącej obejmuje (PJW):

- przemieszczanie,
- wykrywanie wizualne przeciwnika,
- oddziaływanie ogniowe (strzelanie),
- podejmowanie decyzji,
- uzupełnianie ŚBiM i UiSW,
- wykonywanie umocnień i przejść w polach minowych i zasiekach przeciwnika.

Każda podstawowa jednostka walcząca opisana jest następującymi atrybutami:

- stan osobowy i-tej jednostki;
- numer kwadratu środkowego jednostki;
- wektor prędkości jednostki i-tej w chwili t ;
- morale;
- aktualnie realizowana decyzja;
- rodzaj działań: obrona, atak, marsz, wycofanie;
- liczba systemów walki danego typu przydzielonych do danego sektora;
- część całości systemu ognia l-tego typu, których ogień bezpośredni skierowany będzie przeciwko systemowi walki typu k strony B;
- obszar do ostrzału przez SystemOgnia (SO) prowadzące ogień pośredni;
- droga natarcia;
- liczba sprawnych SW k -tego typu w j -tym sektorze w chwili t ;
- liczba SO danego typu w danym sektorze w konkretnym stanie;
- stopień spieszenia piechoty w chwili t ;
- zbiór identyfikatorów jednostek podstawowych strony B, które mogą być rażone przez SO jednostki id strony A;
- zbiór identyfikatorów jednostek podstawowych strony B, których SO mogą razić SW jednostki id strony A;
- zapas amunicji SO;
- zasób paliwa jednostki id w chwili t .

Zakłada się, że systemy ognia bezpośredniego mogą znaleźć się w jednym ze stanów:

- wyszukiwanie celu;
- ładowanie i celowanie - stan składający się z dwóch faz.

Czas wyszukiwania celu jest zmienną losową o rozkładzie wykładniczym (γ), a parametr rozkładu zależy między innymi od:

- typu środka wykrywającego i wykrywanego,
- odległości między nimi,
- warunków atmosferycznych i terenowych,
- stosowanych technik maskujących.

Model jednostki podstawowej WRiA obejmuje:

- stan jednostki,
- położenie,
- prędkość,
- stan osobowy,
- stan wyposażenia,
- stan środków artyleryjskich,
- stan środków transportowych (pojazdów),
- stan amunicji i paliwa,
- realizowane zadanie,
- stan morale.

Symulacja jednostek inżynierskich odwzorowuje następujące zadania

- rozbudowę fortyfikacyjną terenu (rejonów, rubieży, punktów i stanowisk),
- budowę zapór inżynierskich, wykonanie niszczeń i wykonanie przejść w zaporach.,
- urządzenie i utrzymanie przepraw,
- wydobywanie i oczyszczanie wody,
- przygotowywanie i utrzymanie dróg (osłona techniczna dróg),
- przedsięwzięcia inżynierskie w ramach maskowania wojsk,
- rozpoznanie inżynierskie przeciwnika i terenu

Modele logistyczne obejmują:

- liczbę batalionów walczących;
- opis plutonu dowodzenia;
- opis plutonu zaopatrzenia.

Modele decyzji jednostek logistycznych zależą w dużej mierze od typu jednostki (zaopatrzenia, remontowa, medyczna, transportowa, baza materiałowa, baza remontowa, itd.) i

szczebla dowodzenia (różnią się środkami logistycznymi, sprzętem logistycznym, zakresem działania, obiektami rozwijanymi, itd.)

Każda jednostka podstawowa posiada wbudowany automat decyzyjny, który obejmuje działania.

W wyniku symulacji w SSWSO uzyskuje wyniki walki po wykonaniu zadania, które obejmują:

- niezgodność czasów realizacji zadań;
- stopień realizacji zadania bojowego;
- możliwość prowadzenia działań ;
- czas walki poszczególnych elementów zgrupowań w operacji;
- liczba wszystkich starć jednostek elementarnych i podstawowych ;
- stopień wykorzystania jednostki w działaniach bojowych;
- licznosc grupy jednostek strony w trakcie walk;
- liczba meldunków danej jednostki;
- czas pokonania jednostki w operacji;
- czas pokonania zgrupowania w operacji;
- zobrazowanie sytuacji w interfejsie systemu ZSyD Kolorado.

Wyniki prezentowane są w postaci ciągu specjalizowanych formularzy.

SSWSO-Złocień funkcjonuje na dostępnych produktach komercyjnych. System pracuje w otwartej lokalnej sieci LAN (Local Area Network) opartej na nowoczesnych stacjach graficznych lub stacjach roboczych podłączonych do serwera dużej mocy SUN FIRE 6800. System pracuje na bazie sieci stacji graficznych wykorzystywanych do zobrazowania sytuacji dla użytkowników na poszczególnych stanowiskach roboczych. Aktualnie, w CSiKGW system jest na etapie wdrażania na platformie systemowej Sun Solaris. Architektura sprzętowa systemu przedstawiona jest na rys. 4.

2.2.3. System The Joint Theater Level Simulation - JTLS

JTLS (*The Joint Theater Level Simulation*) jest systemem symulującym działanie sił połączonych na szczeblu teatru działań. Odzwierciedla kluczowe aspekty wojny w powietrzu i na lądzie z uwzględnieniem wspierającej roli sił morskich. Symulacja może być wykonywana w czasie rzeczywistym (ciągłym) lub w czasie dyskretnym. JTLS to system symulacji dyskretny. Symulacje dyskretny mogą być taktowane czasem lub zdarzeniami zachodzącymi w czasie. W symulacji sterowanej zdarzeniami zmiana stanu w systemie następuje w określonym czasie, w których dochodzi do oddziaływania pomiędzy komponentami systemu

Jest on interaktywnym symulatorem wspieranym komputerowo, umożliwiającym wielopoziomowe symulowanie działań jednostek połączonych (wojsk lądowych, sił powietrznych i marynarki wojennej). oraz działań sił specjalnych i wywiadu.

JTLS jako symulacyjny system walki może być stosowany na wiele różnorodnych sposobów, lecz najczęściej jest wykorzystywany jako:

- narzędzie analityczne w procesie planowania;
- system wspomagający proces edukacyjny;
- system wspomagania ćwiczeń i szkoleń;
- podstawowe narzędzie do badania rezultatów walki.

JTLS jest dyskretnym systemem symulacji, tzn. symulacja może być taktowana odcinkami czasowymi lub konkretnymi zdarzeniami, które zachodzą w czasie. Działania na polu walki są symulowane w taki sposób, aby stan systemu zmieniał się prawidłowo po wystąpieniu zdarzenia. Zdarzenia muszą być wykonywane w określonej sekwencji odpowiadającej kolejności zdarzeń w systemie rzeczywistym.

JTLS zbudowany jest z sześciu głównych modułów programowych oraz licznych programów wspomagających, które w połączeniu ze sobą służą przygotowaniu scenariusza gry wojennej, prowadzeniu gry oraz analizie otrzymanych rezultatów.

JTLS posiada wbudowany model symulacyjny, który nie jest zależny od konkretnego teatru działań. Koncepcja symulacji jest oparta o zastosowanie szeregu modeli cząstkowych, które określają zakres funkcjonalności oraz adekwatności modelu. W skład modelu bazowego wchodzi następujące modele cząstkowe:

- model działań na lądzie;

- model działań w powietrzu;
- model działań wywiadowczych;
- model działań logistycznych;
- model działań na morzu;

Model działań na lądzie obejmuje następujące działania:

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

Model działań w powietrzu obejmuje następujące działania:

- Powietrzny system kontroli przestrzeni powietrznej i ostrzegania;
- Walka elektroniczna;
- Tankowanie w powietrzu;

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

Model działań wywiadowczych odwzorowuje następujące działania:

- Prowadzenie okresowego rozpoznania i tworzenie okresowych meldunków wywiadowczych;
- Bezpośrednie działania wywiadowcze prowadzone przez małe oddziały;
- Przesyłanie meldunków z miejsc wykonywania zadań przez siły lądowe i powietrzne;
- Prowadzenie niezależnego rozpoznania pola walki przez każdą ze stron konfliktu;
- Selektywne dzielenie się informacjami wywiadowczymi pomiędzy koalicjantami;
- Ograniczone działania wywiadowcze w odniesieniu do celów i jednostek przeciwnika;
- Udostępnianie środków wywiadowczych narodowych jak i koalicyjnych;

- Tworzenie sieci łączności.

Model działań logistycznych obejmuje:

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

Model działań na morzu obejmuje

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

Systemy walki

W systemie JTLS dowolna liczba systemów walki może być przedstawiona w bazie danych scenariusza. Każdy system jest opisany różnymi charakterystykami np. maksymalnym skutecznym zasięgiem niszczenia (prowadzenia ognia), zdolnościami odzyskiwania i napraw uszkodzonego sprzętu, typem wymaganego paliwa i amunicji. Systemy walki są także charakteryzowane jako systemy prowadzenia ognia bezpośredniego i pośredniego z odpowiednimi różnicami w obliczaniu strat.

W walce mogą być użyte systemy ognia pośredniego. Cały sprzęt wojskowy jest wpisany do zbioru współrzędnych terenu. Wszystkie konwoje zaopatrzenia, misje lotnicze pozostające w pogotowiu, oraz obiekty znajdujące się поблизу działań wojennych podlegają stratom bez względu na to kto strzela. Broń atomowa i chemiczna także może być użyta. Bazując na danych zawartych w bazie danych scenariusza straty pojawiają się zarówno natychmiastowo jak i po okresie czasu, kiedy jednostka pozostaje w obszarze. Każda jednostka lądowa może być użyta do wsparcia jakiegokolwiek innej nie morskiej jednostki ogniem pośrednim. Każda jednostka lądowa może dostać rozkaz układania pól minowych lub rozminowania oraz naprawiania obiektów.

Użycie broni w JTLS skutkuje albo zniszczeniami obszaru albo celu punktowego. Broń niszcząca obszar zarówno sterowana precyzyjnie jak i sterowana nieprecyzyjnie skutkuje zniszczeniem jednego lub więcej obiektów w niszczonej terenie. Nieprecyzyjna broń punktowa uderza w cel, jeżeli jest jakiś w przeszukiwanym obszarze. W przeciwnym razie cel w danym obszarze jest wybierany losowo. Precyzyjna broń punktowa uderza w cel, jeżeli jest jakiś w przeszukiwanym obszarze. W innym przypadku cel w danym obszarze jest wybierany przy użyciu algorytmu najlepszego współczynnika zabicia (pK).

Broń punktowa może spowodować zniszczenie tylko jednego obiektu w obszarze. Określenie obiekt zależy od tego co jest niszczone. Dla jednostki, jeden obiekt oznacza cały system walki lub zaopatrzenia, którego rozmiar określono w bazie danych. Dla konwoju zaopatrzenia oznacza jedną ciężarówkę, barkę lub pociąg. Dla misji lotniczych na lądzie to jeden samolot.

Broń konwencjonalna skutkuje konwencjonalnymi efektami zależącymi od typu broni, typu celu, danych o śmiertelności i algorytmów szczegółowo rozpatrujących każdy przypadek użycia broni. Broń chemiczna i nuklearna skutkuje natychmiastowymi stratami personelu oraz zanieczyszczeniem obszaru na określony odcinek czasu. Amunicja minowa tworzy albo rozszerza pola minowe.

Rezultaty walki lądowej są określane przy użyciu równań Lanchestera. Atak na obiekty punktowe, lotnicze i lądowe, jest określany przy użyciu zmierzonej intensywności niszczenia lub prawdopodobieństwa zabicia (pK).

Główne możliwości modelu to:

- sprzężenie na poziomie operacyjnym w celu podjęcia najlepszej decyzji;
- szerokie spektrum aktywności wojsk modelu symulacyjnego;
- wsparcie sytuacji kryzysowej przed wybuchem konfliktu;
- wykorzystanie przez międzynarodowe Połączone Siły Zbrojne NATO;
- różne wyposażenie sprzętowe i systemów uzbrojenia sił koalicyjnych;
- duży obszar działania (2000 x 2000 mil).

JTLS wspiera następujące rodzaje Operacji Połączonych:

- operacje lądowe z wykorzystaniem dowolnych batalionów i brygad, z elementami transportu, przemieszczenia wojsk, użyciem artylerii, wojsk inżynieryjnych i lotnictwa lądowego;
- operacje powietrzne od jednej do wielu misji połączonych z wykorzystaniem wariantów ataku z powietrza, walki w powietrzu, transportu lotniczego, zrzutów lotniczych, tankowania w powietrzu, eskorty, patrolu AWACS, walki elektronicznej oraz poszukiwania i ratowania rozbitków;
- operacje morskie od jednej do wielu operacji sił nawodnych i podwodnych z wykorzystaniem wariantów transportu morskiego, walki podwodnej, nawodnej, obrony przeciwlotniczej i przeciwpodwodnej konwojów, wsparcia ogniowego z artylerii burtowej oraz operacji desantu z amfibii;
- inne operacje, np. operacje logistyczne, rozpoznania, systemów łączności i informatyki CIS, operacje specjalne itp.

Główne czynniki uwzględniane w modelu:

- różne ukształtowanie terenu z podanymi przeszkodami, obiektami strategicznymi, wysokość i głębokość terenu;
- warunki pogodowe włącznie z frontem atmosferycznym przechodzącym przez obszar teatru działań wojennych;
- osiągi, zasięgi i skuteczność systemów uzbrojenia, statków powietrznych oraz dane z rozpoznania;

- warunki dnia i nocy.

Kategorie celów, jakie zastosowano w modelu, to: ważne obiekty strategiczne, pola minowe, pasy startowe lotnisk, schrony samolotów, stanowiska dowodzenia, obiekty wsparcia, linie zaopatrzenia, bazy mps, mosty, tunele, skrzyżowania, ważne punkty, porty, okręty i statki możliwe do użycia w działaniach wojennych, pojazdy, statki powietrzne, amfibie oraz jednostki służb wsparcia. Jako potencjalne cele zakwalifikowano do nich również rurociągi ze stacjami pomp, linie kolejowe, autostrady i drogi szybkiego ruchu, rzeki nawigacyjne zdadne do żeglugi dla barek statków, infrastrukturę portów, stanowisk obrony przeciwlotniczej i mosty.

Pozwala to użytkownikowi na wyświetlanie danych o terenie, które nakładają się na wybraną mapę wektorową.

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

- współrzędne geograficzne;
- współrzędne pól sześciokątnych;
- Uniwersalna Siatka Merkatora (UMT);
- wojskowa siatka współrzędnych.

Dodatkowo projekt JTLS dostarcza następujących korzyści:

1. Podstawowy język programowania SIMSCRIPT II.5 został zaprojektowany do tworzenia wydajnej symulacji.
2. Interakcyjność pozwala na dostępność danych wejścia i wyjścia do/z systemu na niezależnych terminalach.
3. Użytkownik ma dostępne menu ekranowego i systemu wiadomości.
4. Możliwość zwiększenia pamięci umożliwia zwiększenie baz danych.
5. Projekt przewiduje (umożliwia) przyszłe modernizacje.
6. Dostępne są procedury zarządzania konfiguracją zapewniające kontrolę oprogramowania i dokumentacji.
7. Dostarczany jest komplet dokumentacji obejmujący wszystkie obszary JTLS

Meldunki do uczestników symulacji (graczy)

Zdolność do uzyskiwania informacji zarówno przez okresowe meldunki lub przez zapytania graczy jest konieczna do pomyślnego planowania i procesu podejmowania decyzji.

JTLS dostarcza graczom 30 zapytań oraz liczne meldunki, które umożliwiają im nadążanie nad rozwojem sytuacji.

Są one zawarte w czterech ogólnych grupach: dowodzenie, lotnictwo, logistyka i wywiad.

Dowodzenie (lądowe i lotnicze):

- a) Raport sytuacyjny: gracz może zażądać bieżącego raportu sytuacyjnego dla dowolnej jednostki lub grupy jednostek z przynależącej bazy danych. Raport ten jest dostępny także dla bardzo małych jednostek.
- b) Raport okresowy: dostarcza dowódcy zestawienia zbiorczego o operacjach lądowych, lotniczych i logistycznych strony oraz o danych wywiadowczych o obcych jednostkach i obiektach. Raport okresowy składa się z 15 oddzielnych wiadomości, każda dotyczy bieżącego stanu podzbioru wszystkich danych traktujących o stronie. Raporty te są dostarczane co pewien czas określony w bazie danych dla strony. Drugi parametr określa częstotliwość Raportów sumarycznych, które zawierają dwa lub więcej Raporty okresowe. Raporty te mają ten sam format co Raporty okresowe, ale sumują wiele pojedynczych okresów.

2) Lotnictwo:

- a) Raport lotniczy: dostarcza zestawienie stanu eskadry, jej aktualnych misji oraz uszkodzonych samolotów. Są także dostarczane łączne informacje, zawierając m.in. długości lotnisk i czas napraw.
- b) Raport misji lotniczej: jest dostępny dla pojedynczej eskadry lub wszystkich eskadr strony (dla Kierownika ćwiczenia wszystkich stron). Dostarcza wszystkich informacji dotyczących stanu misji eskadry, nazwę misji, postawę, czas do ataku, bieżącą liczbę samolotów, liczbę pocisków, typ misji oraz lokalizację. Dodatkowo Raport o wszystkich eskadrach zawiera listę nie spełnionych żądań wsparcia lotniczego i listę baz lotniczych z brakami paliwa lotniczego.

3) Logistyka:

- a) Raport logistyczny: ten raport jest dostępny po żądaniu dla szczególnych sił lub określonej jednostki. Zawiera ogólne informacje, status systemu walki (tabele organizacji i wyposażenia, sprzętu w naprawie i sprawnego), status zaopatrzenia, zdolność jednostki do przetransportowania zaopatrzenia płynnego i suchego. Jest dostarczany stan ciężarówek dla jednostek zaopatrzenia oraz stan samolotów dla eskadr. Skrócony raport logistyczny jest dostępny także dla bardzo małych jednostek.
- b) Raport o stanie konwoju: dostarcza danych o stanie wszystkich konwojów, które są wysłane z jednostki lub do jednostki albo porusza się z jednej określonej jednostki do

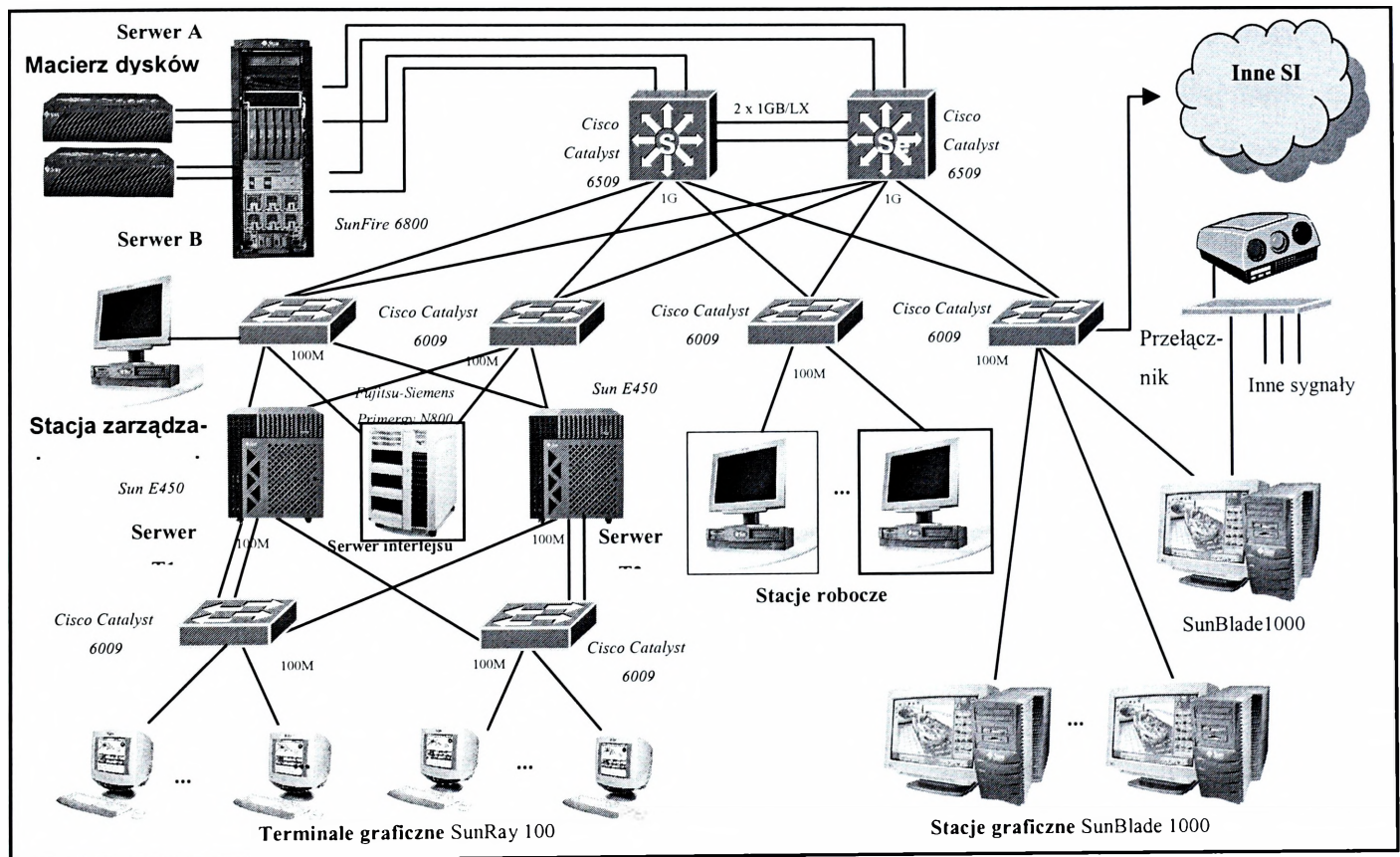
innej. Raport zawiera jednostkę wysyłającą konwój, miejsce docelowe, przybliżony czas dotarcia, status środków transportu i dostarczane zaopatrzenie.

4) Wywiad

- a) Raport patrolu bardzo małej jednostki: jednostka z misją zbierania EEI melduje swoje obserwacje co pewien czas ustalony w bazie danych. Raport zawiera informacje o wykrytych jednostkach i obiektach. W zależności od czasu, jaki obca jednostka jest obserwowana, HRU melduje postawę, status, lokalizację i procent ukończenia. Wyniki są wyświetlane graficznie i w programie IMT. Generowana jest wiadomość.
- b) Raport wywiadu taktycznego: jest automatycznie dostarczany przez jednostki co określony czas. Tylko jednostki, które mają określone zdolności zbierają wywiad taktyczny. Wynikiem jest aktualizacja informacji o obcych jednostkach i obiektach, a ilość informacji zależy od czasu obserwacji. Dane wywiadowcze są dostarczane bezpośrednio do programu IMT i wyświetlenia graficznego a także są zawarte w raporcie okresowym.
- c) Raport wywiadu elektronicznego: raport dostarcza listę wykrytych i obecnie emitujących obiektów, wszystkich wykrytych i emitujących sensorów.
- d) Raporty o wyrzutniach i przygotowaniu wyrzutni: jakikolwiek środek inwigilacji może wykryć, że obca jednostka rozpoczęła przygotowania do wystrzelenia pocisku powierzchnia-powierzchnia lub może wykryć wyrzutnię. Te środki to jednostki, lotnictwo lub naziemne sensory i patrole HRU. Jeżeli takie wydarzenie zostanie wykryte, ta informacja jest przekazana graczowi, tak szybko jak tylko jest to możliwe. Generowany jest wydruk wiadomości. Patrolująca HRU przerywa ciszę radiową, aby zameldować zarówno przygotowania jak i wystrzelenie pocisku.

JTLS został uznany przez natowską Agencję ds. Konsultacji, Dowodzenia i Kierowania za oficjalny system symulacyjny dla Połączonych Sił Zbrojnych NATO.

Aktualnie w CSiKGW funkcjonuje JTLS w wersji 2.6 na platformie systemowej Sun Solaris w wersji na pojedynczym komputerze lub w sieci. Architektura sprzętowa systemu przedstawiona jest na rys. 4.

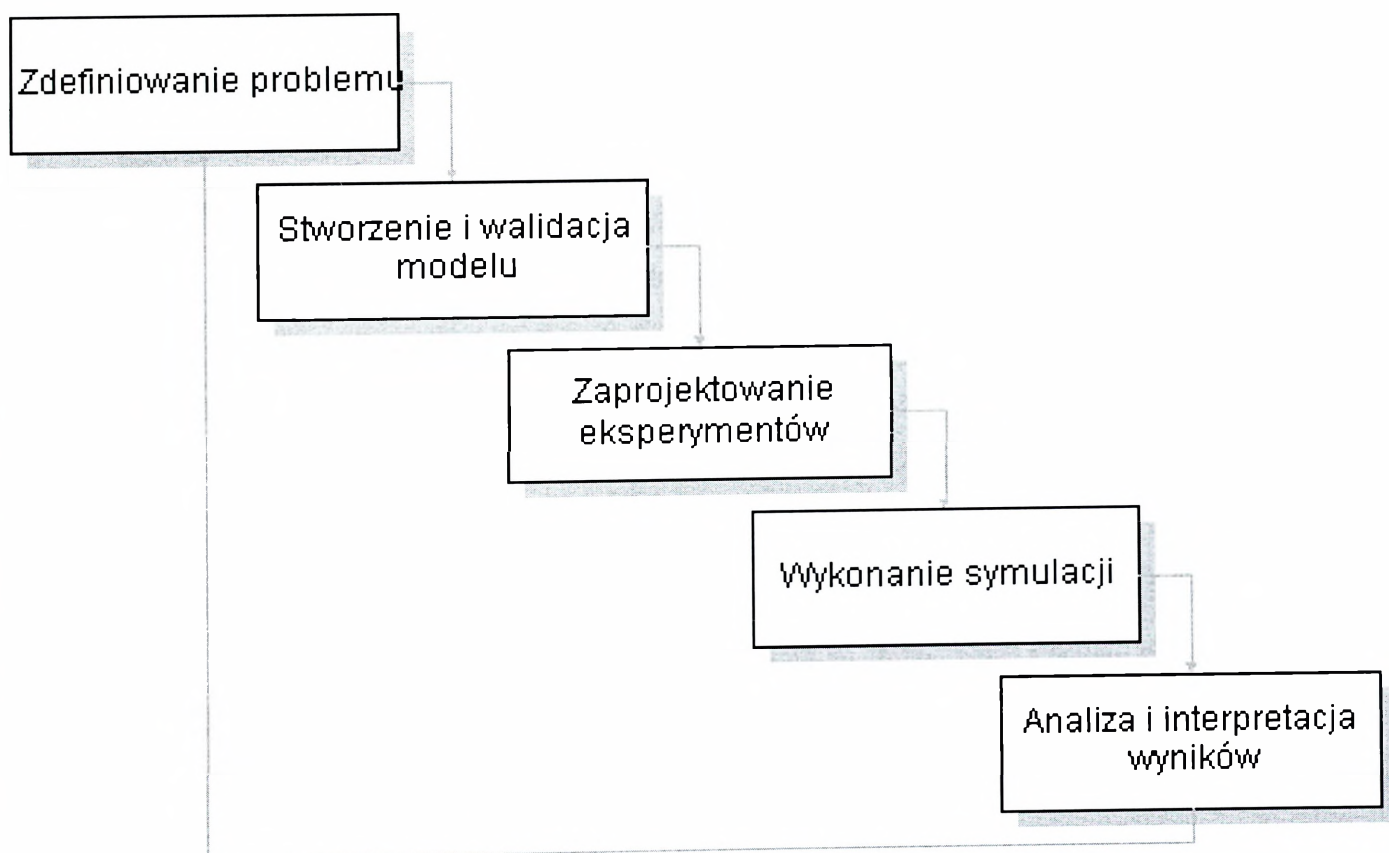


Rysunek 4. Architektura sprzętowa dla systemu JTLS oraz SSWSO „Złocień” w CSiKGW.

3. Istota symulacji i eksperymentu symulacyjnego

3.1. Ogólna procedura realizacji symulacji

Użytkowanie systemu symulacyjnego przebiega w pewnym cyklu (być może nawet iteracyjnie) przedstawionym na rys. 5. Duża pętla opisuje pełny (inicjalizacyjny oraz modyfikacyjny) cykl, w którym (re)definiuje się problem i buduje model matematyczny. Model taki poddaje się następnie ocenie dotyczącej jego adekwatności do postawionego problemu i możliwości osiągnięcia postawionego celu. Po akceptacji powyższego, realizować można badania symulacyjne w „małej” pętli: projektowanie eksperymentu – wykonanie symulacji – analiza i interpretacja wyników.



Rysunek 5. Cykl realizacji badania symulacyjnego

Opracowanie i walidacja modelu symulacyjnego dotyczy problemów ogólnoteoretycznych, o których przeprowadzono rozważania w p.2, **zaprojektowanie (zaplanowanie) eksperymentu symulacyjnego** omówione zostanie w p. 3.2 i 4, natomiast **analiza i interpretacja wyników eksperymentów symulacyjnych** dotyczy statystycznej obróbki

tacja wyników eksperymentów symulacyjnych dotyczy statystycznej obróbki wyników i omówiona została w [24]. Obecnie odniesiemy się do etapu „**wykonanie symulacji**”.

Wykonanie symulacji polega na dokładnej realizacji eksperymentu zgodnie z planem jego przeprowadzenia. Czynności realizowane w tym etapie zestawzić można w postaci sekwencji działań:

- **Przygotowanie systemu do pracy** (do przeprowadzenia) eksperymentu symulacyjnego polega na zainstalowaniu systemu, odpowiedniej konfiguracji, organizacji stanowisk (badawczych), przygotowanie i przetestowanie odpowiednich modułów systemu, itp.
- **Opracowanie danych wejściowych** polega na weryfikacji merytorycznej zakresu i wartości badanych zmiennych zgodnie z wymaganiami formalnymi systemu, wprowadzeniu ich do baz danych, sprawdzeniu ich wewnętrznej spójności, integralności oraz niesprzeczności merytorycznej (być może w tzw. *preprzebiegach*, utworzenie zbiorów i baz pośrednich (jeśli tego system wymaga) albo operacyjnych.
- **Reorganizacja danych słownikowych** polega na weryfikacji lub modyfikacji parametrów i niesterowanych zmiennych modelu zgodnie z potrzebami eksperymentu wyspecyfikowanych w planie.
- **Ustalenie warunków *ceteris paribus*** polega na tym, aby zagwarantować by wartości pozostałych zmiennych modelu były niezmiennie, przyjmowały stałe wartości, albo co najwyżej losowane były z rozkładów o małej wariancji. Realizując eksperyment, w którym badamy związki pomiędzy zmiennymi (analiza regresji), albo poszukujemy (pseudo)optimalnego rozwiązania albo po prostu chcemy określić „mapę” wartości pewnych zmiennych, to zawsze wtedy należy zapewnić każdemu eksperymentowi (w serii prowadzonych eksperymentów) realizację w warunkach *ceteris paribus*.
- **Wprowadzenie scenariusza eksperymentu** polega na wprowadzeniu (weryfikacji) wszystkich danych towarzyszących i niezbędnych do przeprowadzenia eksperymentu. Tutaj także należy określić punkty zatrzymań symulacji i składowanie odpowiednich danych oraz określenie typu czasu systemowego (reakcja na zdarzenia, o stałym kroku lub mieszany);
- **Start symulacji** polega na uruchomieniu odpowiednich aplikacji systemu.
- **Monitoring przebiegu symulacyjnego i bieżąca analiza uzyskiwanych danych** polega na takim wyborze opcji pracy systemu, aby możliwe było śledzenie przebiegu

eksperymentu, głównych zdarzeń i danych je określających. Bieżąca analiza dotychczasowych danych pozwolić powinna na doraźną ocenę poprawności zachowania się systemu i ocenę skutków (wpływu) zmian wartości zmiennych egzogenicznych na obserwowaną endogeniczną. W przypadku braku akceptacji, zatrzymujemy symulację, korygujemy dane i realizujemy *reprzebieg*.

- **Manipulacja czasem systemowym** polega na umiejętnym wykorzystaniu możliwości systemu symulacyjnego odnośnie przyspieszania / zwalniania czasu systemowego.
- **Składowanie danych** polega na zapamiętaniu wymaganych do analizy danych w odpowiedniej strukturze, w odpowiednich plikach. Być może system ma możliwość definiowania odpowiedniej formy i postaci danych, wówczas należy takie raporty opracować.
- **Wstępna obróbka danych**, jeśli system ma taką funkcjonalność, wówczas dane empiryczne pozyskane z (serii) eksperymentów można przetworzyć do postaci zredukowanej i o większej informacyjności.
- **Koniec symulacji** – polega na zatrzymaniu realizacji eksperymentu.

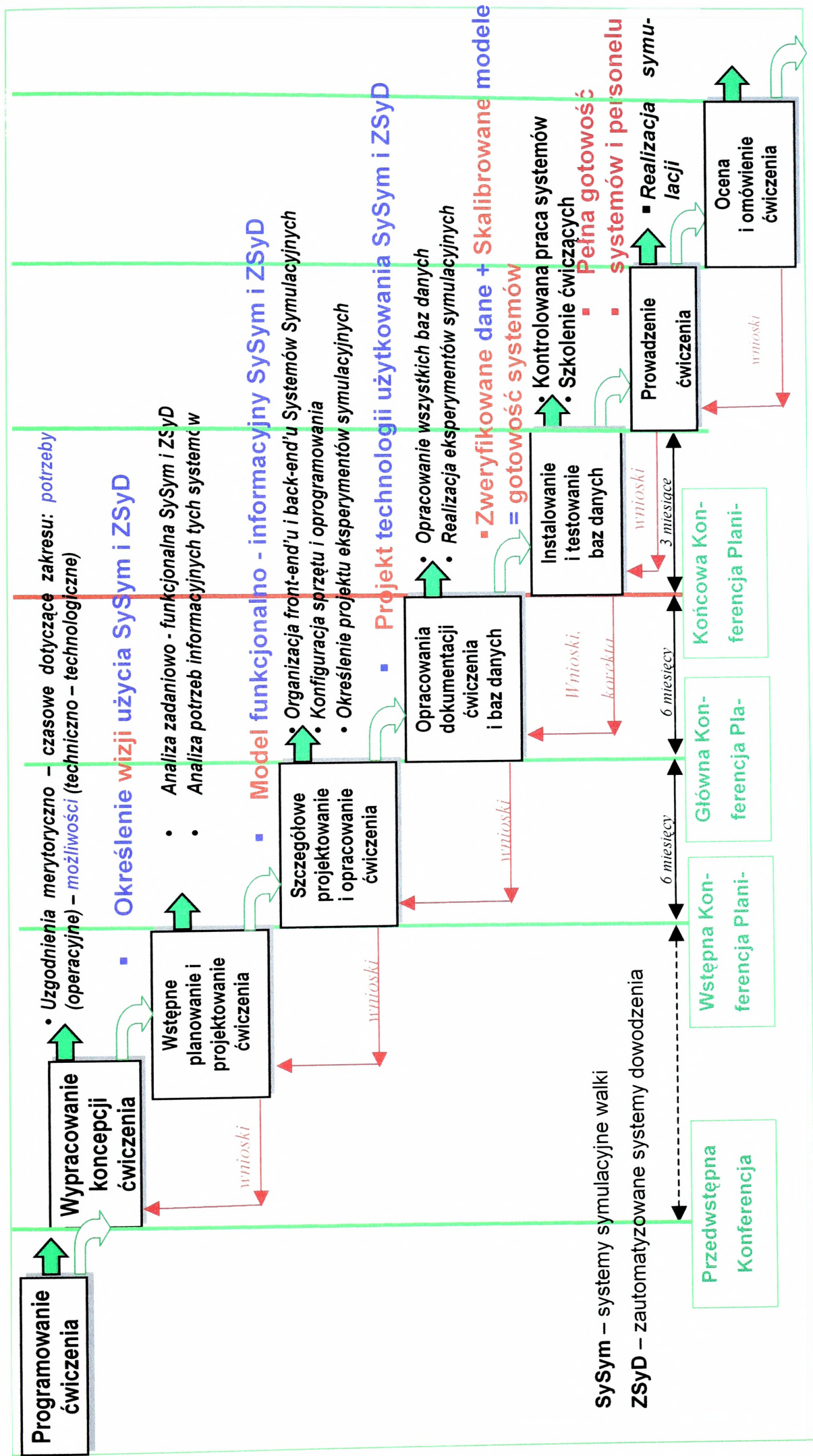
Należy przy tym pamiętać, że:

- W przypadku **symulacji deterministycznej** prowadzimy tylko jeden przebieg dla każdej wartości zmiennej kontrolowanej.
- W przypadku **symulacji probabilistycznej** wartości zmiennych niekontrolowanych są losowane z odpowiednich rozkładów, stąd każdy przebieg daje inne wyniki. By wyniki były statystycznie wiarygodne należy przeprowadzić kilkadziesiąt przebiegów dla każdej wartości zmiennej decyzyjnej.²¹

3.2. Zadania procesu realizacji eksperymentu symulacyjnego

Zadania podczas realizacji eksperymentu symulacyjnego muszą być poprzedzone jego przygotowaniem zgodnie z projektem. Poniżej przedstawiono zakres zadań w procesie przygotowania i realizacji eksperymentu symulacyjnego w uwarunkowaniach czasowych przygotowania i prowadzenia ćwiczeń CAX w CSiKGW.

²¹ Eksperyment symulacyjny zachowuje cechę powtarzalności, a ponieważ techniki do tego wykorzystywane pozwalają na zmianę warunków początkowych lub zewnętrznych (egzogenicznych w stosunku do modelu), zatem na podstawie wyników kolejnych symulacji można wnioskować o własnościach modelowanego systemu.



Rysunek 6 Zadania procesu realizacji eksperymentu symulacyjnego w uwarunkowaniach czasowych CAX.

3.2.1. Faza przygotowania eksperymentu symulacyjnego

Procedura realizacji fazy przygotowania ćwiczenia typu CAX realizowana jest w trzech etapach:

ETAP 1. Przygotowanie koncepcyjno – organizacyjne

1. Wypracowanie koncepcji ćwiczenia

- Uzgodnienia merytoryczno – czasowe dotyczące zakresu wspomaganie ćwiczeń. Ze-
spolenie: potrzeb (operacyjno -koncepcyjnych) z możliwościami (techniczno – tech-
nologicznymi systemów informatycznych),
- Określenie wizji użycia systemów symulacyjnych i zautomatyzowanych systemów
dowodzenia.

2. Wstępne planowanie i programowanie ćwiczenia

- Analiza zadaniowo - funkcjonalna systemów symulacyjnych i zautomatyzowanych
systemów dowodzenia,
- Analiza potrzeb informacyjnych tych systemów,
- Opracowanie modelu funkcjonalno - informacyjnego systemów symulacyjnych i
zautomatyzowanych systemów dowodzenia.

3. Szczegółowe projektowanie i opracowanie ćwiczenia

- Opracowanie koncepcji organizacji front-end'u i back-end'u systemów symulacyj-
nych,
- Konceptualizacja konfiguracji sprzętu i oprogramowania,
- Określenie projektu (zakresu i treści) eksperymentów symulacyjnych.

ETAP 2. Przygotowanie rzeczowo - technologiczne

4. Projekt technologii użytkowania systemów symulacyjnych i zautomatyzowanych sys- temów dowodzenia

- Opracowanie dokumentacji (organizacyjnej, operacyjnej) ćwiczenia
- Opracowanie wszystkich baz danych i baz dokumentów formalnych (informatyczna),

- Realizacja eksperymentów symulacyjnych (łącznie z usuwaniem błędów typu statycznego i dynamicznego),
- Analiza operacyjna wyników i kalibracja modeli zgodnie z ocenami ekspertów operacyjnych.

Produktem dwóch pierwszych etapów fazy przygotowania ćwiczenia typu CAX są: **zweryfikowane dane + skalibrowane modele = gotowość użytkowa systemów symulacyjnych**

ETAP 3. Przygotowanie operacyjne

5. Instalowanie i testowanie baz danych

- Instalacja i konfiguracja sprzętu i oprogramowania zgodnie z koncepcją,
- Zorganizowanie i przeszkolenie *back-end*'u systemów symulacyjnych,
- Testowanie funkcji realizowanych przez systemy i zespoły *back-end*'u do poziomu kontrolowanej pracy systemów,
- Szkolenie ćwiczących.

Produktem trzeciego etapu fazy przygotowania ćwiczenia typu CAX jest: **pełna gotowość operacyjna systemów i personelu**

3.2.2. Faza realizacji eksperymentu symulacyjnego

Faza **prowadzenia ćwiczenia** polega na realizacji eksperymentów symulacyjnych zgodnie z opracowanymi danymi i decyzjami szkolonych oraz korektą kierownictwa ćwiczenia. Zadania realizowane w tej fazie to:

- uruchomienie procesów symulacji,
- organizacja, nadzór i pomoc ćwiczącym zespołom w pracy na SySym (*front-end*) - wprowadzanie decyzji ćwiczących,
- realizacja wszystkich zadań *back-end*'u (zaplecza technicznego SySym, administratora, koordynatora),
- sterowanie przebiegiem gry zgodnie z projektem ćwiczenia i decyzjami bieżącymi kierownika ćwiczenia,
- realizacja zadań zespołów nie uczestniczących bezpośrednio w ćwiczeniu,

- utrzymanie sprawności technicznej struktury telekomunikacyjnej ćwiczenia,
- dokumentowanie multimedialne ćwiczenia.

Produktem fazy prowadzenia ćwiczenia typu CAX są:

- **bezawaryjne sterowanie pracą systemów symulacyjnych oraz uzyskanie określonych w koncepcji ćwiczenia wyników symulacji.**

3.2.3. Faza analizy i interpretacji wyników eksperymentu symulacyjnego

Realizacja fazy oceny i omówienia ćwiczenia polega na przeprowadzeniu następujących przedsięwzięć:

- analiza i ocena organizacji *back-end*'u oraz *front-end*'u systemów,
- analiza wyników eksperymentów symulacyjnych na potrzeby projektowanych ćwiczeń i dla celów naukowo-badawczych,
- analiza i ocena faktycznych potrzeb informacyjnych ćwiczących,
- dostarczenie odpowiednich danych niezbędnych do przeprowadzenia pełnej analizy (adekwatności modeli, poprawności powziętych decyzji) na potrzeby: AAR (*After Action Review*) i FER (*Final Exercise Report*), poprzez odpowiednią instalację i konfigurację niezbędnych narzędzi,
- archiwizacja kompletnych danych (rzeczowych i procesualnych) w postaci elektronicznej z przeprowadzonej gry symulacyjnej,
- odtworzenie konfiguracji sprzętu i sprawności oprogramowania na potrzeby prac projektowych i testowych,
- opracowanie kompletnej multimedialnej dokumentacji.

Produktem fazy oceny i omówienia ćwiczenia typu CAX są:

- **opracowane wyniki symulacji i ćwiczeń na potrzeby AAR i FER,**
- **zarchiwizowane bazy (danych i dokumentów) z przeprowadzonego ćwiczenia.**

4. **Metodyka opracowania eksperymentu symulacyjnego**

Metodyka²² - zbiór zasad dotyczących sposobów wykonywania jakiejś pracy lub trybu postępowania prowadzącego do określonego celu. W opracowaniu eksperymentu symulacyjnego celem jest przeprowadzenie ćwiczenia CAX.

4.1. **Przygotowanie scenariusza eksperymentu symulacyjnego**

Scenariusz – (zbiór lub pojedyncza) baza danych stanowiąca podstawę ćwiczenia CAX, zawierająca parametry i charakterystyki (jednostek, środków walki, obiektów, terenu) oraz dane dotyczące działań bojowych (strony walki, struktury organizacyjne, zdarzenia na polu walki itp.)

4.1.1. **Ogólna procedura przygotowania scenariusza**

W zależności od skali przygotowywanego ćwiczenia typu CAX oraz złożoności systemu symulacyjnego zespoły przygotowujące bazy danych scenariuszy będą realizowały różne zadania. W specyficznych warunkach pewne etapy będą mogły zostać pominięte lub będą realizowane w mniejszym zakresie. Poszczególne systemy symulacyjne wykonane w określonej technologii będą umożliwiały realizację poszczególnych zadań za pomocą mniej lub bardziej złożonych i rozproszonych środowisk programowych. W większości przypadków można wyróżnić następujące etapy w przygotowaniu bazy danych scenariusza.

Etapy przygotowania bazy danych scenariusza:

1. wybór metody i utworzenie scenariusza;
2. wprowadzanie danych i aktualizacje scenariusza;
3. weryfikacja bazy danych scenariusza;
4. konfiguracja systemu symulacyjnego;

²² Słownik Języka Polskiego, PWN

5. testowanie potencjalnej możliwości uruchomienia scenariusza;
6. testowanie statycznego i dynamicznego etapu symulacji;
7. testowanie symulacji przy pełnym obciążeniu;
8. weryfikacja wyników symulacji z założeniami;
9. archiwizacja plików danych, plików konfiguracyjnych oraz dokumentacji.

Wybór metody i utworzenie scenariusza

Wybór metody tworzenia bazy danych scenariusza zależy od wielu czynników, ale do najważniejszych należą: posiadanie istniejących (własnych) baz danych scenariuszy, stopień podobieństwa (zgodności) nowego scenariusza z już istniejącymi, doświadczenie zespołu przygotowującego bazę danych oraz od czasu na przygotowanie bazy danych scenariusza.

Przykład w systemie JTLS - *Metody tworzenia nowego scenariusza.*

W systemie JTLS istnieją różne klasyfikacje metod tworzenia nowego scenariusza. W rzeczywistości (z technologicznego punktu widzenia) istnieją dwie podstawowe metody tworzenia scenariusza:

tworzenie nowego scenariusza z pre-definiowanej bazy EMPTY;
modyfikacja istniejącego scenariusza bazy danych.

Pierwsza metoda tworzenia scenariusza nie wymaga żadnych plików, ponieważ wykorzystywana jest pre-definiowana baza EMPTY. Baza EMPTY nie zawiera danych (prototypów, jednostek, obiektów itd.).

Druga metoda związana jest z wykorzystaniem już istniejącego scenariusza. W tej metodzie należy użyć specjalnie do tego celu zaprojektowanego skryptu copyscenario. Działanie skryptu copyscenario opisano w następnym temacie „Utworzenie nowego scenariusza”.

W każdej z wymienionych metod można wyróżnić dodatkowo dwa przypadki wynikające z doświadczenia zespołów przygotowania danych i baz danych dotyczących funkcjonujących scenariuszy.

W tworzeniu z bazy danych EMPTY możemy wyróżnić dwa przypadki:

- tworzenie od początku całej bazy danych przez zespół nie mający doświadczenia i własnych zasobów baz danych,
- tworzenie z wykorzystaniem bazy danych EMPTY przez zespół z dużym doświadczeniem, który posiada własne zasoby baz danych.

W pierwszym przypadku, bardzo rzadko stosowanym i nie zalecanym przez producenta systemu, zespół tworzący bazę danych będzie musiał zmierzyć się nie tylko z bardzo dużą ilością danych do wprowadzenia, ale i także z całym złożonym modelem danych systemu JTLS. Powyższe wymagania sprawiają, że metoda ta praktycznie nie jest wykorzystywana.

W drugim przypadku nowa baza jest wykorzystywana tylko jako „pusty pojemnik” na dane, które bardzo często za pomocą własnych narzędzi są przenoszone z istniejących baz danych do nowego scenariusza.

Podobnie, w metodzie polegającej na modyfikacji istniejącego scenariusza bazy danych można wyróżnić dwa przypadki:

- tworzenie bazy z wykorzystaniem bazy „BLANK”;
- tworzenie z wykorzystaniem pełnych scenariuszy- przykładowo standardowych bazy SDBV26, Ratest26, lub baz danych z rzeczywistych ćwiczeń: *Canon Cloud, Capable Warrior*.

W pierwszym przypadku wykorzystywana jest baza danych scenariusza „BLANK”, która jest pełnym scenariuszem JTLS - jeżeli chodzi o liczbę plików, ale jest niepełnym scenariuszem, jeżeli chodzi o ilość danych. Baza BLANK zawiera większość danych modelowych, wraz z prototypami, kategoriami obiektów, itp. Nie zawiera natomiast danych specyficznych dla danego ćwiczenia tzn. jednostek, przydzielonych do nich obiektów, stron, frakcji, itp. Metoda ta jest wykorzystywana w przypadku, gdy nowy scenariusz znacznie odbiega od istniejących, ponieważ wykorzystanie jakiegokolwiek innego scenariusza, przykładowo SDBV26, wiązałoby się z koniecznością usuwania danych specyficznych dla danego ćwiczenia (przede wszystkim stron, frakcji, jednostek i obiektów).

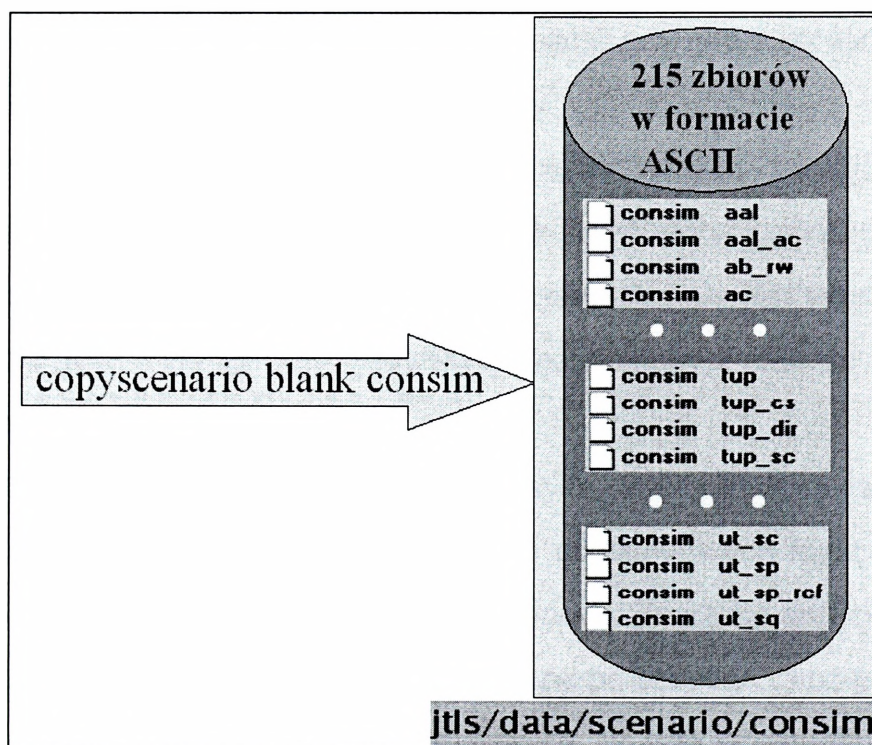
W drugim przypadku wykorzystuje się istniejący pełny scenariusz. Metoda ta jest najczęściej stosowana w przypadku dużego podobieństwa nowego scenariusza do scenariusza istniejącego: podobne lub dokładnie takie same jednostki, prototypy, obiekty. W tej metodzie zespół tworzący bazę danych musi zdecydować, który z dostępnych scenariuszy będzie wymagał mniej prac z dostosowaniem do wymogów nowego scenariusza. Przykładowo po stworzeniu pierwszego scenariusza (który będzie zawierał dane charakterystyczne dla polskich sił zbrojnych) może się okazać, że pozostawienie parametrów modelowych i prototypów oraz wykasowanie danych specyficznych dla danego ćwiczenia będzie lepszym rozwiązaniem niż rozpoczęcie prac z bazy „BLANK”.

Przykład w systemie JTLS - *Utworzenie nowego scenariusza*

Niezależnie od metody tworzenia nowego scenariusza, tworzenie z bazy EMPTY, czy tworzenie za pomocą polecenia `copyscenario`, należy na serwerze Oracle utworzyć użytkownika o nazwie zgodnej z nazwą nowego scenariusza. Operacja ta jest niezbędna, aby po utworzeniu scenariusza, w postaci plików ASCII, można było wykonać pierwszą operację Load (załadowanie danych, wczytanie danych - import) plików do bazy w formacie Oracle. Pierwsza operacja Load powoduje utworzenie niezbędnych struktur i obiektów w bazie Oracle takich jak tabele, indeksy itp.

W celu utworzenia nowego scenariusza należy z linii poleceń wydać polecenie `{copyscenario istniejący_scenariusz nazwa_nowego_scenariusza}`.

Przykładowo wydanie polecenia `{copyscenario blank consim}` spowoduje utworzenie nowego scenariusza o nazwie „consim” na podstawie istniejącego scenariusza „blank”. Skrypt `copyscenario` wykonuje pełną operację tworzenia nowego scenariusza, która składa się z następujących kroków: utworzenia w katalogu `jtls/data/scenario/` nowego podkatalogu o nazwie takiej, jak nazwa nowego scenariusza, skopiowanie 215 plików w formacie ASCII z katalogu istniejącego scenariusza (pierwszy parametr w poleceniu `copyscenario`) oraz zmianę nazw wszystkich nowo skopiowanych plików na nazwę nowego scenariusza (drugi parametr w poleceniu `copyscenario`).



Rysunek 7. Tworzenie nowego scenariusza za pomocą skryptu `copyscenario`.

Wprowadzanie danych i aktualizacje scenariusza

Bazy danych współczesnych systemów symulacyjnych są coraz bardziej złożone. Wynika to przede wszystkim ze wzrostu mocy obliczeniowej komputerów, która z kolei umożliwia realizację bardziej złożonych modeli symulacyjnych. Wzrost możliwości obliczeniowych oraz dążenie do maksymalnego odwzorowania rzeczywistego pola walki w współczesnych systemach symulacyjnych muszą nieść ze sobą także zwiększenie wymagań na bazy danych systemów symulacyjnych i to nie tylko ze względu na ich wielkość, ale także na ich złożoność.

Mówiąc o bazie danych mówimy o całości wszystkich zasobów danych związanych ze scenariuszem ćwiczenia. Bazy danych scenariuszy składają się głównie z trzech różnych rodzajów danych:

dane o terenie;

- dane dotyczące działań bojowych (strony walki, struktury organizacyjne zadania, itp.);
- dane parametryczne.

Weryfikacja bazy danych scenariusza

Wprowadzenie niezbędnych informacji do bazy danych otwiera możliwość do kolejnego etapu, jakim jest weryfikacja bazy danych scenariusza. Weryfikacja scenariusza nie jest procesem jednorazowym, zwłaszcza w sytuacji, gdy nowy scenariusz powstaje przez modyfikację jednego z wcześniejszych scenariuszy.

Programy wykorzystywane do wprowadzania danych umożliwiają wstępną weryfikację wprowadzanych danych. Pierwszy rodzaj kontroli dotyczy poszczególnych pól: sprawdzanie zakresu wartości, typu, wartości, sprawdzenie czy pole jest wymagane, czy opcjonalne, itp. Następnie jest wykonywana weryfikacja na poziomie rekordu (spójność relacyjna między tabelami bazy danych).

Wyżej wymieniona weryfikacja danych, na etapie wprowadzania, jest wykonywana, w przypadku korzystania ze standardowych i podstawowych narzędzi wprowadzania danych o scenariuszu dla danego systemu symulacyjnego. Znacznie gorzej jest w przypadku, gdy producent systemu nie wspiera wprowadzania rozproszonego i pozostawia tworzenie narzędzi do wprowadzania rozproszonego innym firmom. W tym przypadku często programy firm trzecich nie spełniają aktualnych (dla danej wersji systemu symulacyjnego) reguł weryfikacji na poziomie pól i rekordów, co więcej czasami nie zawierają także aktualnych poprawek do samej struktury danych np. brak określonej kolumny w tabeli (lub ich nadmiar).

Weryfikacji danych scenariusza na znacznie wyższym poziomie dokonują specjalnie dedykowane programy do weryfikacji całej bazy danych scenariusza. Weryfikacja polega na sprawdzeniu zależności, powiązań, oraz spójności danych (łącznie z wartościami zmiennych) w ramach określonych zakresów danych (odpowiadających zastosowanym w danym systemie symulacyjnym modelom poszczególnych działań). Zwykle wykryte błędy i niezgodności w scenariuszu dzielone są na dwie grupy: błędy krytyczne oraz ostrzeżenia. Brak błędów krytycznych na etapie weryfikacji umożliwia realizację kolejnych etapów, jakimi są konfiguracja gry oraz jej uruchomienie.

Konfiguracja systemu symulacyjnego

Konfiguracja systemu symulacyjnego będzie zależała od etapu realizacji systemu symulacyjnego oraz aktualnych zadań realizowanych w danym etapie. W dużym uproszczeniu należy rozróżnić dwa podstawowe rodzaje konfiguracji: konfigurację testową oraz konfigurację pełną. W początkowym etapie przygotowania i weryfikacji scenariusza nie wszystkie procesy i programy muszą zostać skonfigurowane; nie są one także konfigurowane na głównych serwerach.

Testowanie statycznego i dynamicznego etapu symulacji

Tworzenie bazy danych nowego scenariusza nie kończy się na etapie usunięcia wszystkich błędów i ostrzeżeń z etapu weryfikacji. Wspomniana wyżej weryfikacja często określana mianem weryfikacji statycznej zapewnia tylko potencjalne uruchomienie systemu symulacyjnego. W pełni przetestowany scenariusz wymaga oprócz testowania statycznego także testowania dynamicznego. Jeżeli testowanie dynamiczne nie zostanie wykonane w fazie przygotowania danych, to niestety będzie musiało nastąpić w trakcie rzeczywistego ćwiczenia. W praktyce wszystkie testy, które wykonywane są po raz pierwszy wskazują na duże różnice między tym, co było w założeniach, a tym, co udało się osiągnąć. Realia ćwiczeń wspomaganych komputerowo wskazują, że weryfikacja dynamiczna powinna być wykonana, w możliwie jak najszerszym zakresie.

Pomimo wagi testowania dynamicznego bardzo rzadko producenci systemów symulacyjnych tworzą do tego celu określone narzędzia, a co za tym idzie nie opisują także problematyki związanej z doбором lub opracowaniem metod, które takie testowanie zapewniają.

Doświadczenia w modyfikacji systemu bazy danych jednoznacznie wskazują, że najważniejszym założeniem w tworzeniu scenariusza jest zachowanie jego potencjalnej możli-

wości do uruchomienia symulacji. Dotyczy to szczególnie systemów symulacyjnych, w których brak jest pełnego dostępu do kodu źródłowego. Przykładem może być system JTLS. Żaden z użytkowników na świecie, poza USA, nie ma dostępu do kodu źródłowego systemu. W praktyce zespół przygotowujący scenariusz może polegać jedynie na własnym doświadczeniu oraz dokumentacji systemu. Aktualnie producent systemu nie udostępnia baz wiedzy lub innych materiałów podobnych do szeroko używanych metod wspierania użytkownika końcowego, jak np. popularne FAQ (*Frequently Asked Questions*). Bazy wiedzy, wspomnianego typu, zawierają najczęściej, w postaci artykułów, informacje o tym jak usunąć określony błąd, jaką procedurę zastosować, aby uniknąć określonego błędu (rozwiązanie alternatywne), w jaki sposób wykonać określoną operację oraz informacje wyższego poziomu, jak wskazówki projektowe lub ogólnie zalecane rozwiązania. Brak tego typu wsparcia niesie ze sobą poważne niebezpieczeństwo, że nie wykryty lub w porę nie usunięty błąd spowoduje, że uruchomienie symulacji nie będzie możliwe. Taka sytuacja stawia pod znakiem zapytania cały sens wcześniejszych prac nad scenariuszem i może doprowadzić do potrzeby powrotu do wcześniejszego punktu rozwoju scenariusza (do określonej kopii archiwalnej). Nic wielkiego, jeżeli powrót będzie oznaczał stratę kilku godzin lub nawet dni; jednak w przypadku straty kilku miesięcy sprawa może być już bardzo poważna. Wystąpienie takiej sytuacji z reguły bardzo źle wpływa na dalszą pracę zespołu - uczucie niepewności, co do jej przyszłych wyników.

Testowanie symulacji przy pełnym obciążeniu

Po zakończeniu testów statycznych i dynamicznych bazy danych nowego scenariusza należy dokonać pełnej konfiguracji systemu i wszystkich programów, które będą musiały ze sobą współpracować w chwili realizacji przyszłego ćwiczenia. Konfiguracja powinna obejmować: program symulacyjny, programy dystrybucji danych, programy interfejsu użytkownika oraz programu zbierające dane dla etapu analizy. Konfiguracja powinna być sprawdzana przy takich wymaganiach, jakie będą w przyszłym ćwiczeniu przykładowo: prędkość symulacji, czas zapisu danych dla fazy analizy, liczba programów interfejsowych uruchomiona dla pełnej liczby ćwiczących łącznie ze stanowiskami kontrolerów i stanowiskami AAR.

Weryfikacja wyników symulacji z założeniami

Weryfikacja wyników symulacji z założeniami obejmuje nie tylko założenia związane z celami i założeniami samej symulacji, ale także założenia dotyczące zbierania danych dla fazy analizy oraz pracy systemu w pełnej konfiguracji i przy pełnym obciążeniu.

Archiwizacja plików danych, plików konfiguracyjnych oraz dokumentacji

Po zakończeniu etapu przygotowania bazy danych należy dokonać archiwizacji wszystkich jej wyników. Pierwszym krokiem jest archiwizacja bazy danych scenariusza. W drugim należy zarchiwizować dodatkowe bazy związane z etapem testowania dynamicznego w postaci zapisanych, zapamiętanych rozkazów (o ile takie zostały stworzone). Następnie należy zarchiwizować wszystkie pliki konfiguracyjne wraz z opisami określonych konfiguracji dla których zostały wykonane. Na zakończenie należy zarchiwizować całość wytworzonej dokumentacji, instrukcji dla ćwiczących, wyników z uzyskanych pomiarów wydajności, itp.

4.1.2. Oprogramowanie

Programy do przygotowania bazy danych scenariusza

Wprowadzanie i aktualizacja bazy danych jest realizowana głównie przez dwa rodzaje oprogramowania: oprogramowanie do tworzenia map oraz oprogramowanie do tworzenia danych testowo-numerycznych, w którym wprowadzane są wprowadzane dane dotyczące działań bojowych (strony walki, struktury organizacyjne zadania, itp.) oraz dane parametryczne. Pewnym łącznikiem są dodatkowe programy lub funkcje umożliwiające w sposób graficzny rozmieszczanie jednostek na mapie, kreślenie granic państw, obszarów operacyjnych itp.

Przykład w systemie JTLS. *Procedura przygotowania nowego scenariusza*

Przygotowanie scenariusza w systemie JTLS polega na przygotowaniu bazy danych o scenariuszu. Baza danych scenariusza JTLS składa się z 215 plików (liczba plików w podkatalogu scenariusza) w formacie ASCII. Format plików ASCII jest rodzimym i podstawowym formatem danych wykorzystywanym w systemie JTLS (na etapie przygotowania bazy danych). Nie oznacza to jednak, że wyżej wspomniany format danych jest jedynym formatem danych wykorzystywanych w JTLS. Drugim formatem jest format ORACLE. Format

Oracle jest wykorzystywany przez podstawowy program do modyfikacji i aktualizacji danych scenariusza DDS. DDS jest programem zbudowanym za pomocą narzędzi Oracle Forms and Reports; umożliwia wykonanie następujących operacji:

- tworzenie nowej bazy danych
- aktualizacja nowej bazy danych
- wyszukiwanie informacji z istniejącej bazy danych
- wykonanie operacji Load/Unload zbiorów ASCII definiujących bazę danych scenariusza JTLS

Pierwszym krokiem w przygotowaniu nowego scenariusza jest wybór metody jego utworzenia. Wybór metody zależy głównie od dwóch czynników: doświadczenia zespołu przygotowującego bazę danych oraz od posiadanych zasobów baz danych istniejących scenariuszy.

Programy do wprowadzania danych w sposób rozproszony.

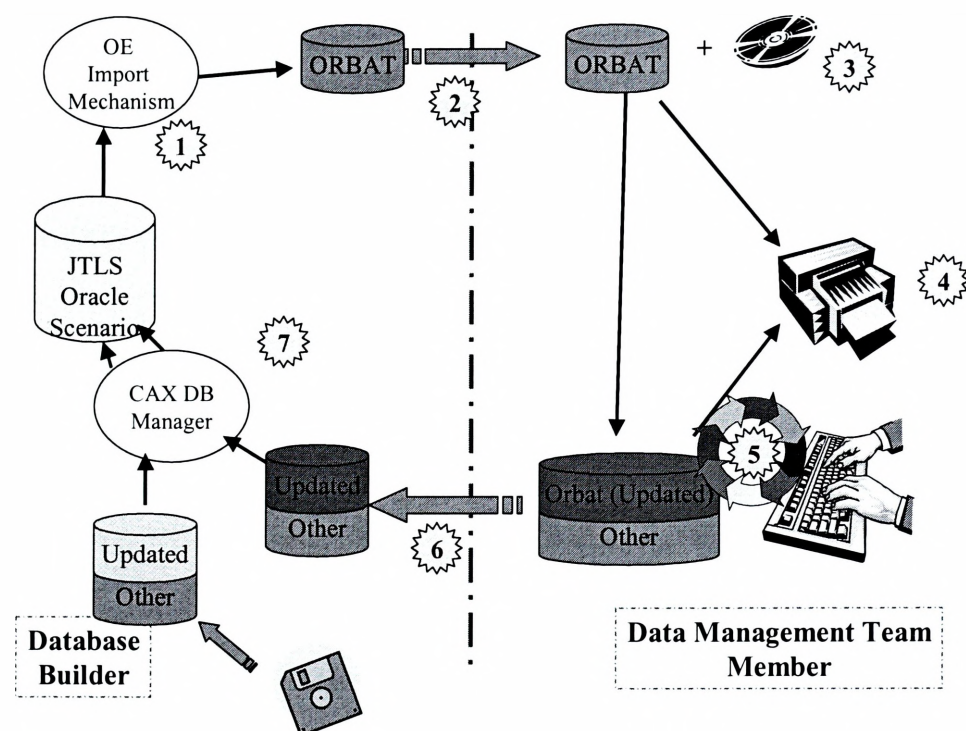
Wprowadzanie dużej ilości danych do baz danych scenariuszy systemów symulacyjnych w naturalny sposób wymusiło stworzenie dodatkowych narzędzi oraz metod do rozproszenia samego procesu wprowadzania i aktualizacji danych. Rozproszenie wprowadzania danych związane jest głównie z przyspieszeniem prac wprowadzania danych poprzez ich zrównoleglenie. Wykonanie tego typu prac we współczesnych centrach symulacji byłoby bardzo kłopotliwe co najmniej z dwóch powodów. Pierwszym jest trudność dostępu do stacji roboczych, z których baza danych byłaby aktualizowana. Drugim powodem jest trudny do spełnienia warunek oddelegowania do pracy w centrum symulacji znacznej liczby pracowników ze strony przyszłych stron ćwiczących. Znacznie lepszym rozwiązaniem od oddelegowania do pracy w centrum symulacji jest umożliwienie pracownikom przygotowania danych w miejscach ich pracy, czyli rozproszenie wprowadzania w czasie i przestrzeni.

Rozproszenie wprowadzania danych wymaga także najczęściej dodatkowego oprogramowania i metod do późniejszego scalenia danych spływających z różnych szczebli. Podstawowym problemem jest do rozwiązania jest problem scalenia pewnych danych, które zostały wyeksportowane z bazy matki scenariusza, następnie były zaktualizowane i wracają do bazy matki, która w tym czasie także ulegała zmianom i rozwojowi. Przy rozproszonym wprowadzaniu danych umożliwia się modyfikację danych, które są specyficzne dla danego

ćwiczącego i nie są danymi o charakterze globalnym, czy też danymi wspólnymi dla wielu ćwiczących.

Przykład w systemie JTLS

W systemie JTLS do wprowadzania danych w sposób rozpogodzony wykorzystywany jest program Orbat, który posiada możliwość importu danych z głównej bazy danych scenariusza. Po modyfikacji danych w programie Orbat (baza danych w formacie MS ACCESS) osoba odpowiedzialna za budowę bazy danych (ang. Database Builder) dokonuje ich eksportu do bazy centralnej wykorzystując do tego program CAX Database Manager.



Rysunek 8. Idea rozproszonego wprowadzania danych w systemie JTLS.

Programy dodatkowe do scalania danych z istniejących baz danych

W przypadku tworzenia nowych scenariuszy bardzo istotnym elementem jest przyspieszenie tworzenia bazy danych scenariusza w oparciu o własne istniejące zasoby danych. Wspomniane przyspieszenie będzie większe w przypadku, gdy zespół przygotowujący dane będzie dysponował dużym doświadczeniem i znajomością modelu bazy danych danego systemu symulacyjnego. Doświadczenie, w przygotowywaniu baz danych, nie musi iść w parze ze znajomością modelu bazy danych. Rozpoznanie modelu bazy danych wymaga skierowania dodatkowych środków i realizacji dodatkowych zadań związanych z analizą modelu danych

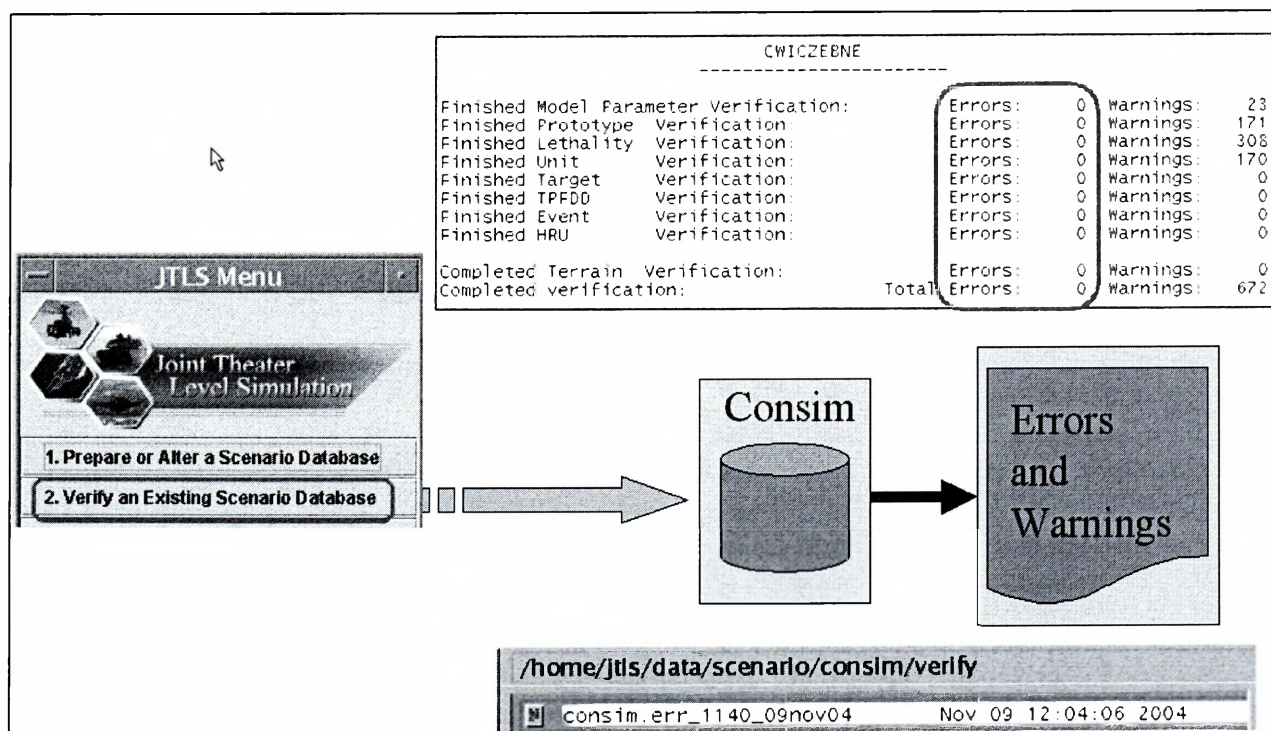
oraz wytwarzaniem własnych narzędzi do przenoszenia i scalania określonych podzakresów danych.

Programy weryfikacji scenariusza

Programy weryfikacji scenariusza dokonują weryfikacji bazy danych scenariusza na wyższym poziomie niż programy, które umożliwiły ich wprowadzanie. Najczęściej wykryte błędy i niezgodności w scenariuszu dzielone są na dwie grupy: błędy krytyczne oraz ostrzeżenia. Dodatkowo w ramach każdej z głównych grup tworzone są dodatkowe podgrupy umożliwiające grupowanie błędów według określonych typów. Grupowanie błędów ułatwia podział pracy dla zespołów zajmujących się aktualizacją i usuwaniem błędów w scenariuszu.

Przykład w systemie JTLS

W celu weryfikacji scenariusza należy z menu systemu JTLS wybrać punkt menu „Verify an Existing Scenario Database”. Danymi wejściowymi dla weryfikacji scenariusza są zbiory danych scenariusza znajdujące się w katalogu `jtls/data/scenario/nazwa_scenariusza`.



Rysunek 9. Weryfikacja scenariusza.

Po weryfikacji scenariusza w katalogu `jtls/data/scenario/nazwa_scenariusza/verify` zostanie utworzony plik zawierający informacje o błędach oraz ostrzeżeniach o możliwych nieprawidłowościach w bazie danych scenariusza. Wystąpienie błędów (*errors*) wiąże się z

dużym prawdopodobieństwem poważnych błędów na etapie uruchamiania symulacji włącznie z tzw. upadkiem systemu (*crash*). W związku z powyższym należy dążyć do sytuacji, aby liczba błędów, w poszczególnych głównych typach danych, była równa zeru. Wystąpienie ostrzeżeń (*warnings*) nie ma, aż tak dużego wpływu na potencjalną możliwość uruchamiania symulacji, jak wystąpienie błędów w scenariuszu. Ostrzeżenie, sygnalizuje pewną nieprawidłowość, która w przypadku, gdy jest niezamierzona, powinna być usunięta. Zdarzają się jednak przypadki, że ostrzeżenie jest wynikiem zamierzonego działania ze strony autorów ćwiczenia²³. Ostrzeżenia nie mogą być jednak lekceważone, ponieważ mogą prowadzić do upadku programu SIP. Zadaniem programu SIP jest przygotowanie struktury oraz plików danych dla fazy symulacji na podstawie danych opracowanych na etapie przygotowania scenariusza.

Programy i metody wspomagające fazę testowania

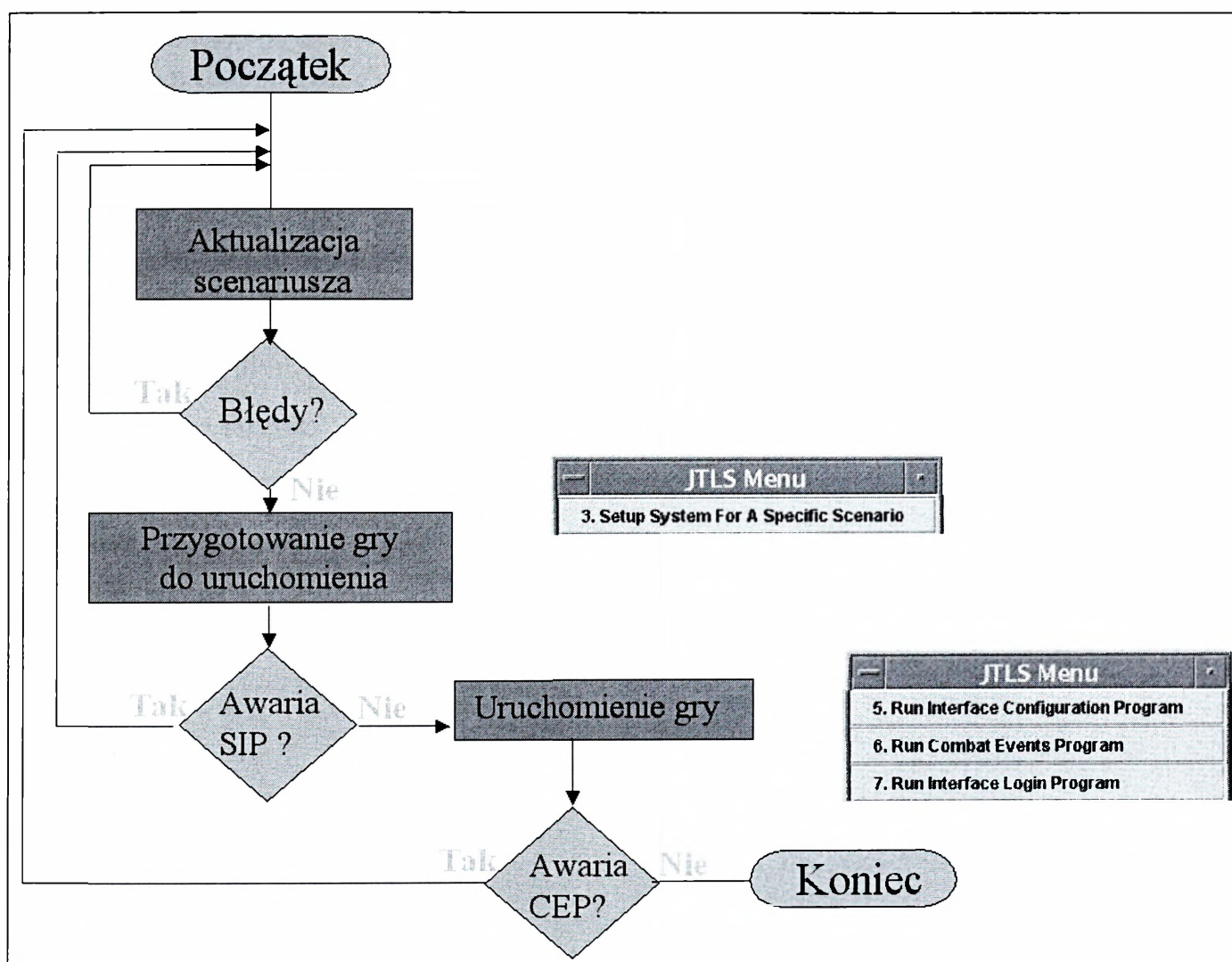
Tworzenie bazy danych nowego scenariusza nie kończy się na etapie usunięcia wszystkich błędów i ostrzeżeń z etapu weryfikacji. Wspomniana wyżej weryfikacja często określana mianem weryfikacji statycznej zapewnia tylko potencjalne uruchomienie systemu symulacyjnego. W pełni przetestowany scenariusz wymaga oprócz testowania statycznego także testowania dynamicznego.

Przykład w systemie JTLS

W Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych AON do wypracowano własną procedurę przygotowania nowego scenariusza. Z założenia jest to procedura dedykowana dla zespołu, który nie ma wcześniejszych doświadczeń w tworzeniu scenariuszy dla systemu JTLS.

²³ Przykładowo, na szkoleniu w Monterey, w jednym ze scenariuszy, parametry jednego z okrętów zostały ustawione tak, że był on nie zatapiający. Ustawienia takiego dokonano celowo, aby ćwiczący (w tym przypadku jako kontroler) był w stanie wykryć nieprawidłowość - dlaczego brak jest efektów uderzeń wykonywanych na wyżej wspomniany okręt.

Oprócz pierwszego założenia (zachowanie możliwości uruchomienia symulacji) drugim istotnym założeniem w opracowaniu bazy danych nowego scenariusza jest wprowadzania małych zmian oraz wykonywanie pełnego cyklu przygotowania gry, aż do uruchomienia symulacji.

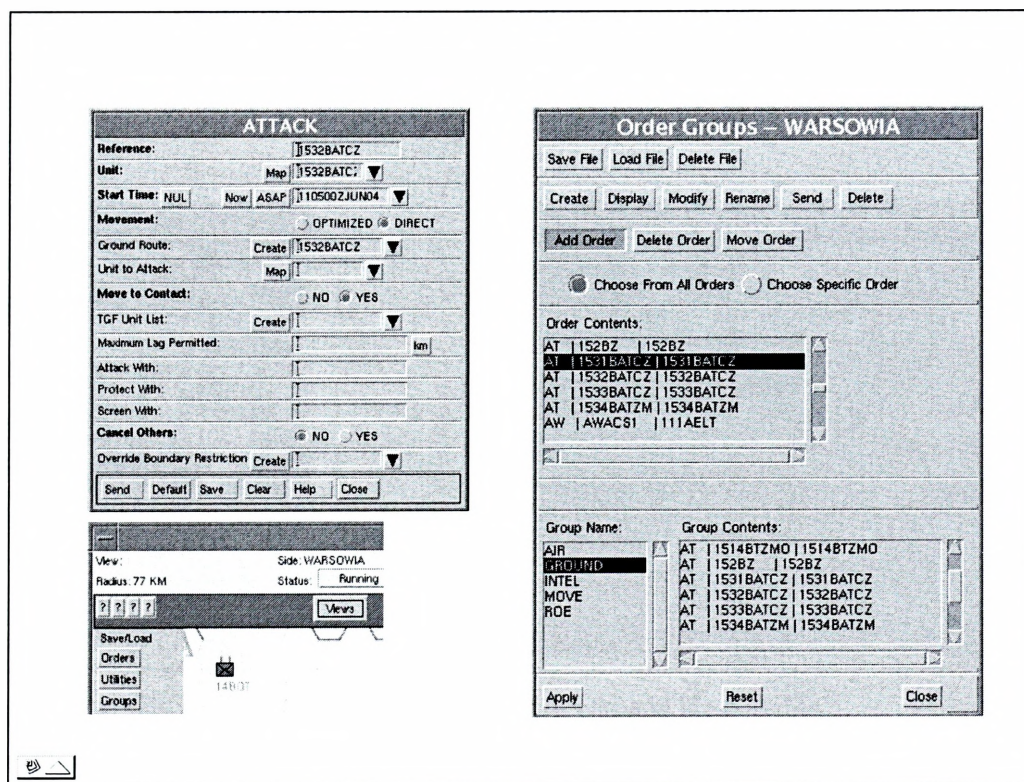


Rysunek 10. Procedura testowania scenariusza.

Opisana procedura umożliwia szybkie i skuteczne usuwanie błędów na początkowym i statycznym etapie uruchomienia gry. Dokładnie, sprawdzamy w niej możliwość uruchomienia głównych procesów CEP i GENIS oraz programów interfejsu użytkownika. Dodatkowo sprawdzamy, jak zachuje się symulacja po wydaniu rozkazu Game Speed z wartością większą od zera. Zwykle po tym etapie dalsze testowanie polega na wydaniu rozkazów testowych przez kontrolera oraz graczy każdej ze stron. Wydawanie rozkazów i reakcja systemu symulacyjnego rozpoczynają drugi etap testowania scenariusza – etap testowania dynamicznego.

Podstawowym problemem w testowaniu dynamicznym jest fakt, że nigdy nie będziemy w stanie przewidzieć wszystkich realnych działań przyszłych uczestników symulacji. Jed-

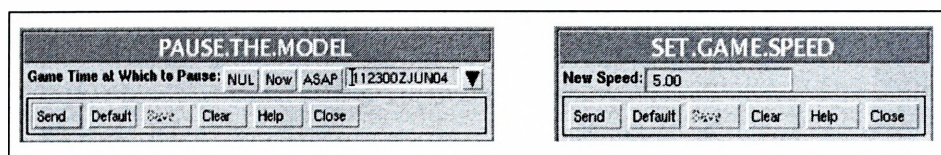
nak nie jest to najważniejsze, ważne jest, aby stopień sprawdzenia lub przetestowania scenariusza był jak największy. Co innego sprawdzić wszystko, a co innego, dopuścić do sytuacji, w której po starcie scenariusza (uważanego za całkowicie poprawny) pierwsze podstawowe rozkazy graczy spowodują zawieszenie systemu. Dodatkowo, po sprawdzeniu potencjalnych możliwości do przeprowadzenia symulacji, w kolejnym kroku należy sprawdzić wynik samej symulacji. Należy dołożyć wszelkich starań, aby nie dopuścić do sytuacji, w której wyniki symulacji, już na pierwszy rzut oka, są całkowicie błędne i nie wynikają z zastosowanych w JTLS modelach symulacyjnych (tylko są wynikiem błędnych danych). W celu zwiększenia wykrywalności błędów, na etapie testowania dynamicznego, należałoby wydać, jak najwięcej rozkazów. Problem w tym, że jednym z założeń były małe zmiany i duża liczba modyfikacji oraz związana z nimi duża liczba powtórnego uruchamiania systemu. Ręczne wprowadzanie rozkazów, rozkaz po rozkazie, jest czynnością czasochłonną i przy wielu powtórzeniach prowadzącą do różnego rodzaju błędów o charakterze czysto operatorskim.



Rysunek 11. Przykład formularzy do grupowania rozkazów.

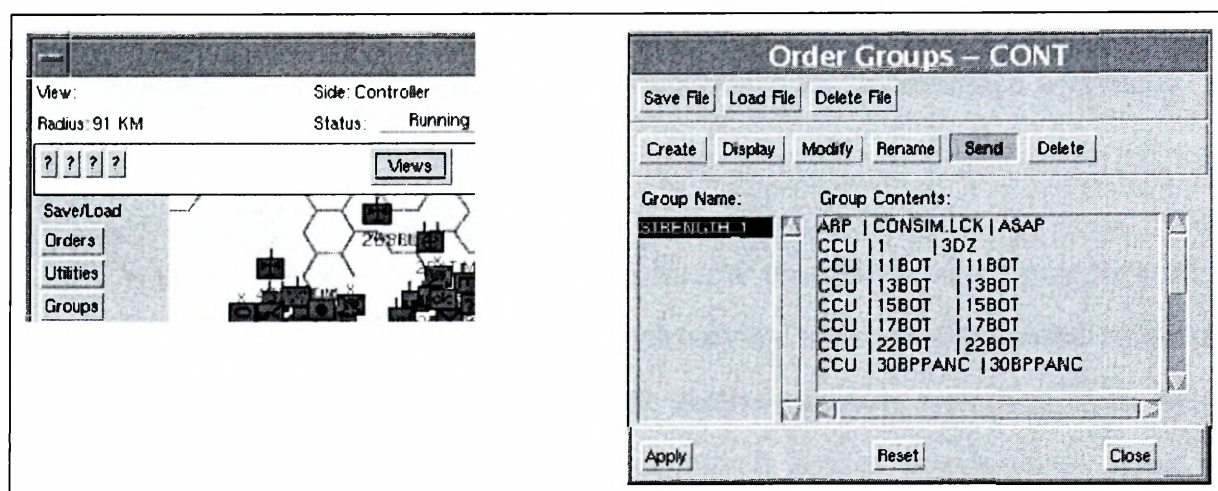
W celu uniknięcia zbędnego i przede wszystkim czasochłonnego wprowadzania rozkazów omawiana procedura została udoskonalona przez wykorzystanie możliwości systemu JTLS do zapisywania, grupowania i wysyłania wcześniej zapisanych rozkazów i grup rozkazów. Po uruchomieniu głównych procesów CEP i GENIS oraz uruchomieniu programu GIAC dla użytkownika kontroler w celu rozpoczęcia symulacji należy wydać rozkaz Game Speed z

prędkością większą od zera. W procedurach testowych dodatkowo można wydać rozkaz Pause, aby symulacja zakończyła się przy pierwszym ważnym etapie działań z punktu widzenia zespołu operacyjnego. Po zatrzymaniu symulacji można ocenić aktualną sytuację jej zgodność z założeniami ćwiczenia. Następnie ponownie ustawić rozkaz Pause na końcu kolejnego istotnego etapu i wydać rozkaz Game Speed.



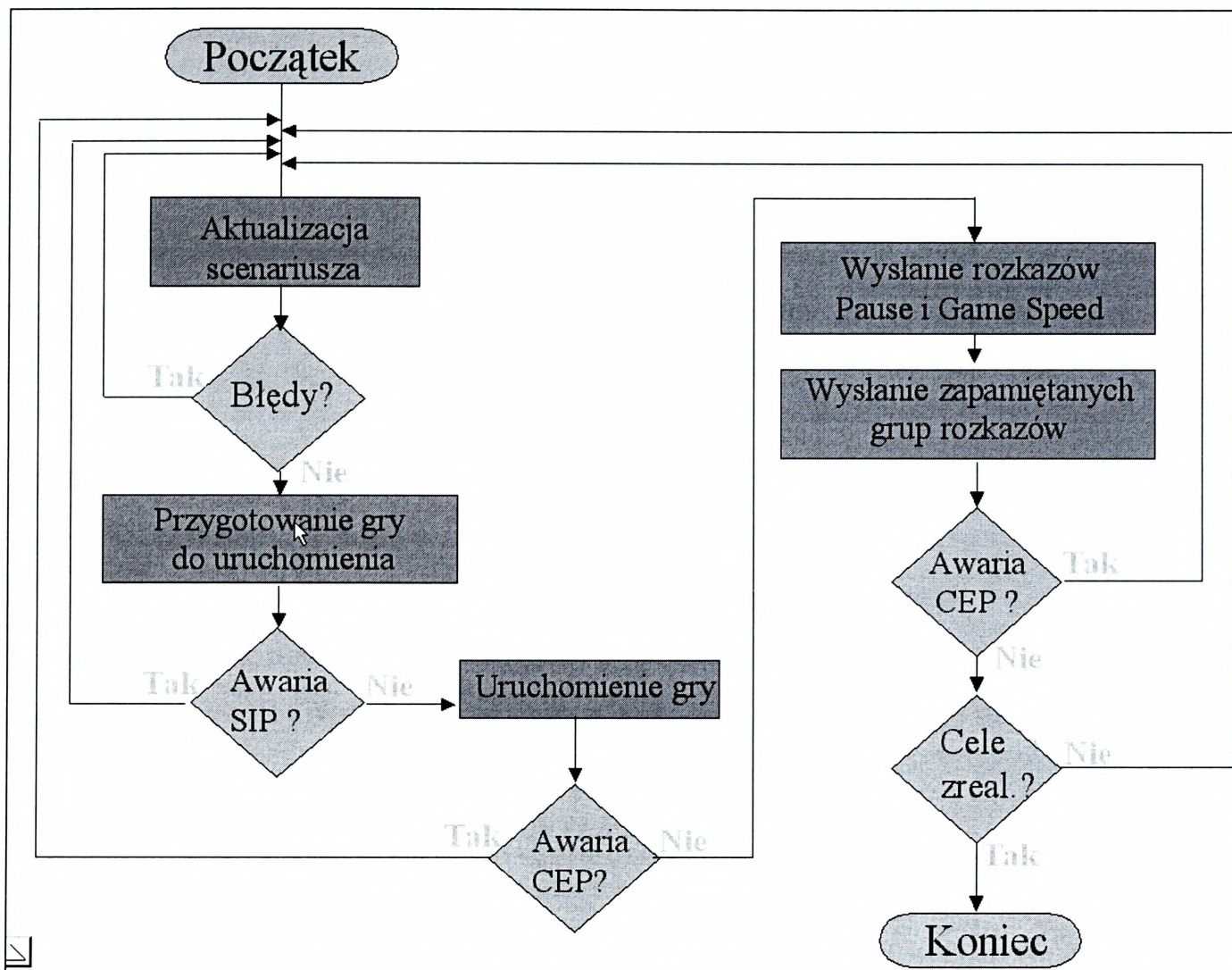
Rysunek 12. Rozkazy PAUSE oraz GAME SPEED

Tuż po rozpoczęciu symulacji można dla każdej ze stron oraz dodatkowo dla strony kontrolera wydać grupy rozkazów. Wydawanie należy rozpocząć od strony kontrolera, z którym najczęściej związane są rozkazy związane z przygotowaniem pewnych warunków początkowych np. zmniejszenie początkowego potencjału sił. Następnie należy wydać rozkazy dla każdej ze stron.



Rysunek 13. Wysyłanie grup rozkazów dla strony Kontroler

Po wydaniu rozkazów można zwiększyć prędkość gry, aby szybciej ocenić wyniki symulacji. Przyspieszenie wydawaniu rozkazów polegające na wydawaniu całych grup rozkazów znacznie przyspiesza tą fazę testów oraz umożliwia rozwój scenariusza zgodnie z założeniami omawianej procedury: małe zmiany i częste sprawdzenia wyników symulacji.



Rysunek 14. Procedura testowania scenariusza uwzględniająca wysyłanie grup rozkazów.

Wykorzystanie zapisanych grup rozkazów umożliwia także przeprowadzanie różnych eksperymentów symulacyjnych. Zespół operacyjny może przygotować różne zestawy grup rozkazów dla przeprowadzenia określonych eksperymentów symulacyjnych. W tym przypadku zadaniem zespołu koordynatorów technicznych będzie wczytywanie przed rozpoczęciem pracy oraz zeskładowanie po zakończeniu pracy grup rozkazów dla danego eksperymentu symulacyjnego.

Niestety funkcjonalność zapisywania rozkazów i grup została zaprojektowana, w systemie JTLS, dla fazy symulacji i nie ma wbudowanych narzędzi programowych do składowania i wczytywania środowiska zapamiętanych rozkazów. W związku z powyższym należy wszystkie pliki i wszystkie podkatalogi, związane z grupami rozkazów odpowiednio skopiować poza strukturę katalogów systemu JTLS (w przypadku zapamiętywania rozkazów) oraz skopiować ponownie do katalogów systemu JTLS (w przypadku wczytywania rozkazów i grup). Miejsce – katalog w systemie Solaris, gdzie kopiujemy środowisko rozkazów powin-

no być traktowane, jak archiwum i spełniać podstawowe wymogi z nim związane tzn. zawierać katalogi z nazwami tworzonymi wg określonych standardów nazewnictwa, z zachowaniem różnych wersji itp.

Wspomniane archiwum rozkazów powinno być także składowane na równi z danymi o scenariuszu. Administrator systemu Solaris musi być uprzedzony o tym, że dany katalog nie jest katalogiem roboczym, który może być np. usunięty podczas zwalniania pamięci dyskowej.

Zalety opracowanej procedury przygotowania scenariusza:

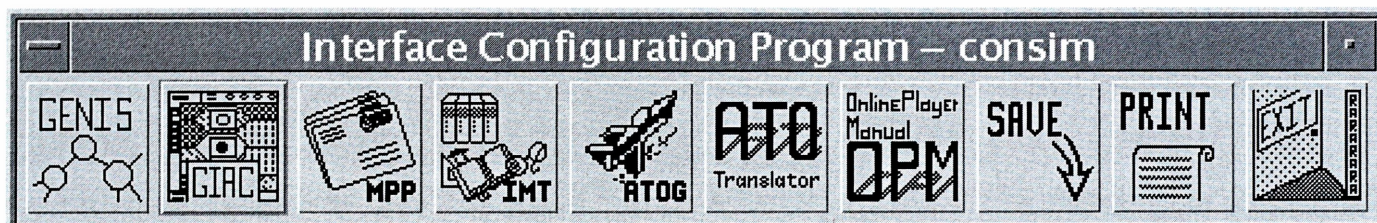
- zwiększenie szybkości oraz niezawodności fazy przygotowania scenariusza,
- przyspieszenie etapu testowania dynamicznego na etapie symulacji,
- zachowanie potencjalnej możliwości do uruchomienia symulacji,
- umożliwienie szybkiej oceny wyników, efektów symulacji oraz jej zgodności z wcześniejszymi założeniami,
- przygotowanie grup rozkazów dla każdej ze stron oraz dla strony kontrolera,
- możliwość przygotowania różnych zestawów grup rozkazów w celu przeprowadzenia różnych eksperymentów symulacyjnych,
- możliwość przeprowadzanie cząstkowych eksperymentów symulacyjnych, w dowolnej fazie symulacji.

Programy do konfiguracji ćwiczenia

Programy do konfiguracji ćwiczenia należy rozumieć jak zbiór programów do konfiguracji wszystkich programów, które będą musiały pracować w trakcie symulacji. Do grupy programów, które muszą zostać uruchomione w trakcie symulacji należy przede wszystkim zaliczyć główny program symulacyjny, programy do przekazywania wyników symulacji, programy interfejsu użytkownika, ale także wszelkie programy, które w trakcie symulacji zbierają dane o wynikach symulacji dla fazy analizy i opracowania wyników ćwiczenia.

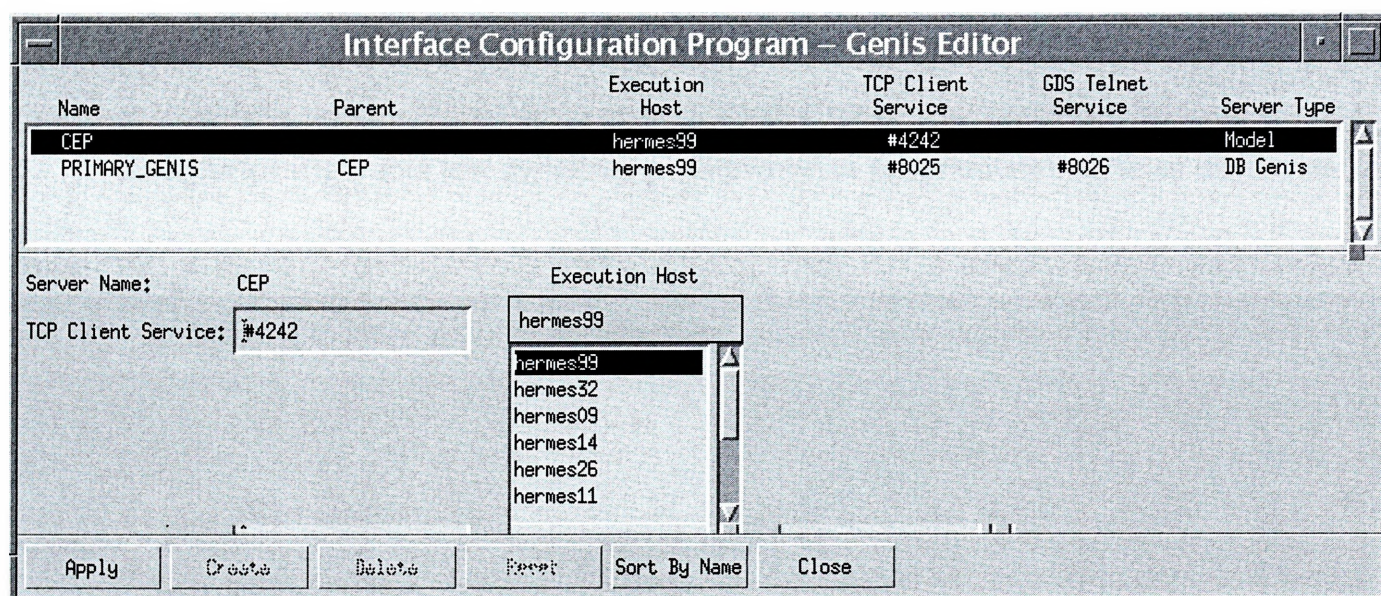
Przykład w systemie JTLS

W systemie JTLS do konfiguracji głównych procesów i programów interfejsu wykorzystywany jest zintegrowany „Program do konfiguracji interfejsu” (*Interface Configuration Program*). W programie należy dokonać wyboru procesu lub programu, którego konfiguracja będzie zmieniana, dokonać jego konfiguracji, i zapamiętać konfigurację.



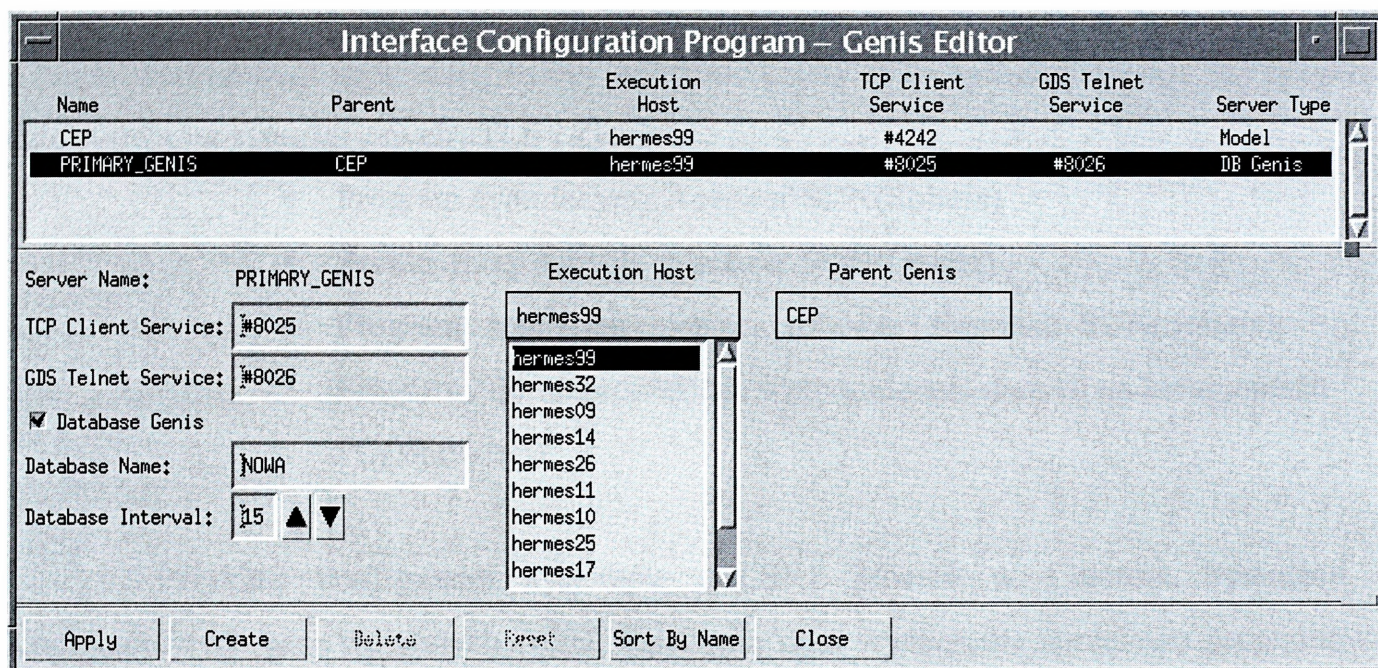
Rysunek 15. Program do konfiguracji programów interfejsowych

Pierwszym programem, jaki należy skonfigurować jest program do symulacji CEP.



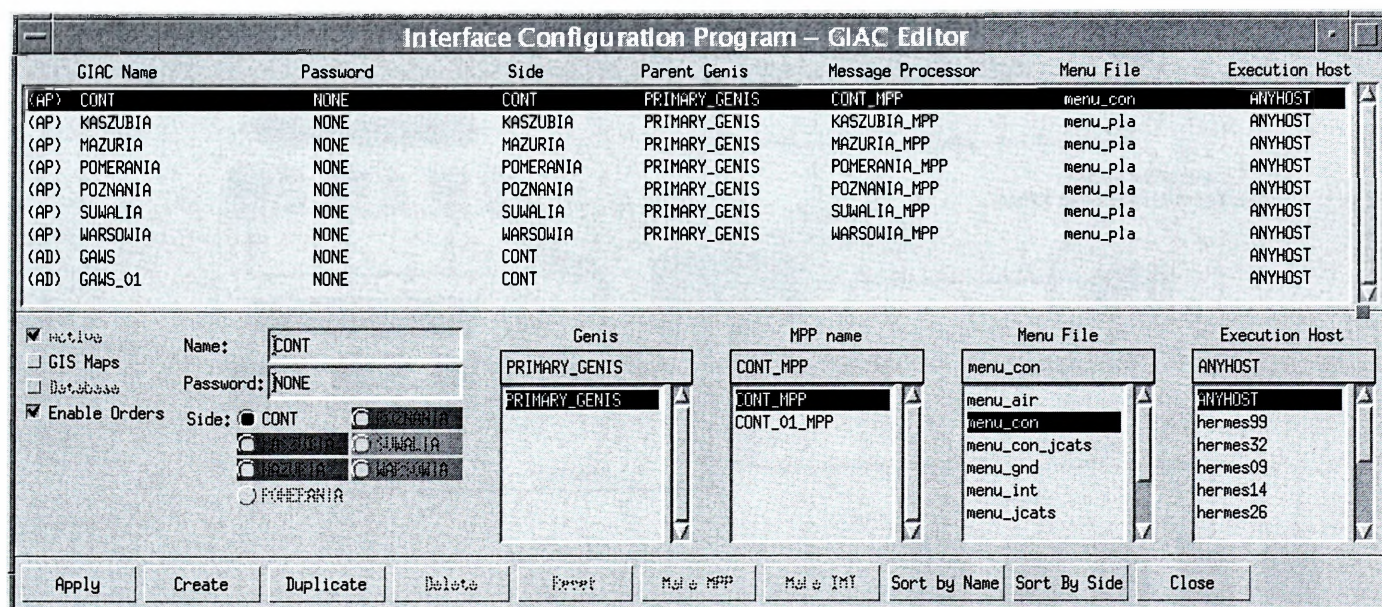
Rysunek 16. Konfiguracja programu symulacyjnego

Drugi program, który należy skonfigurować, to program do dystrybucji danych PRIMARY GENIS.



Rysunek 17. Konfiguracja programu do dystrybucji danych

Kolejna konfiguracja jest związana podstawowym programem interfejsu użytkownika.



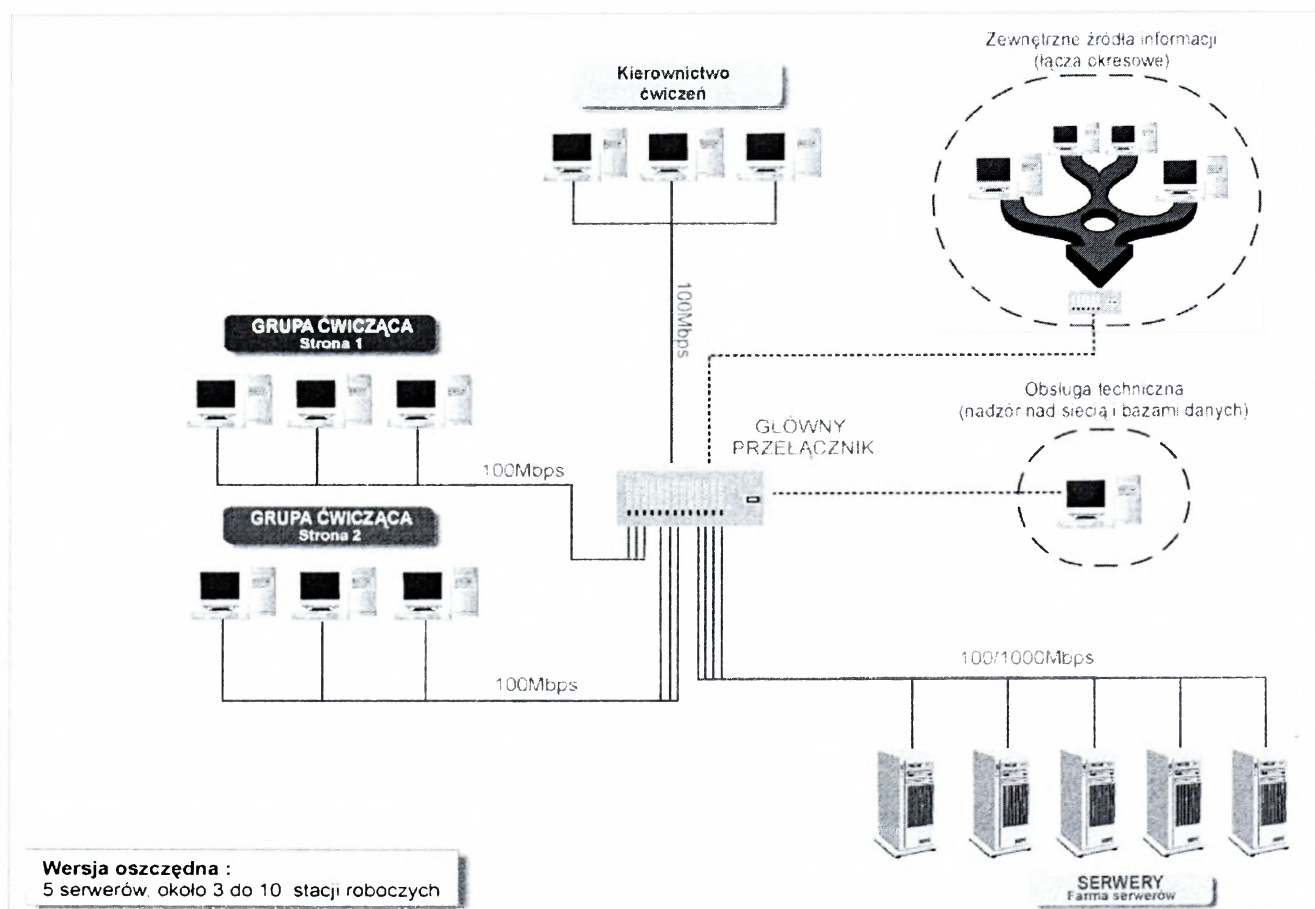
Rysunek 18. Konfiguracja głównego programu graficznego GIAC

4.1.3. Konfiguracja sprzętowa

W konfiguracji sprzętowej należy wyróżnić cztery grup oprogramowania (na przykładzie systemów symulacyjnych JTLS i Złocięń):

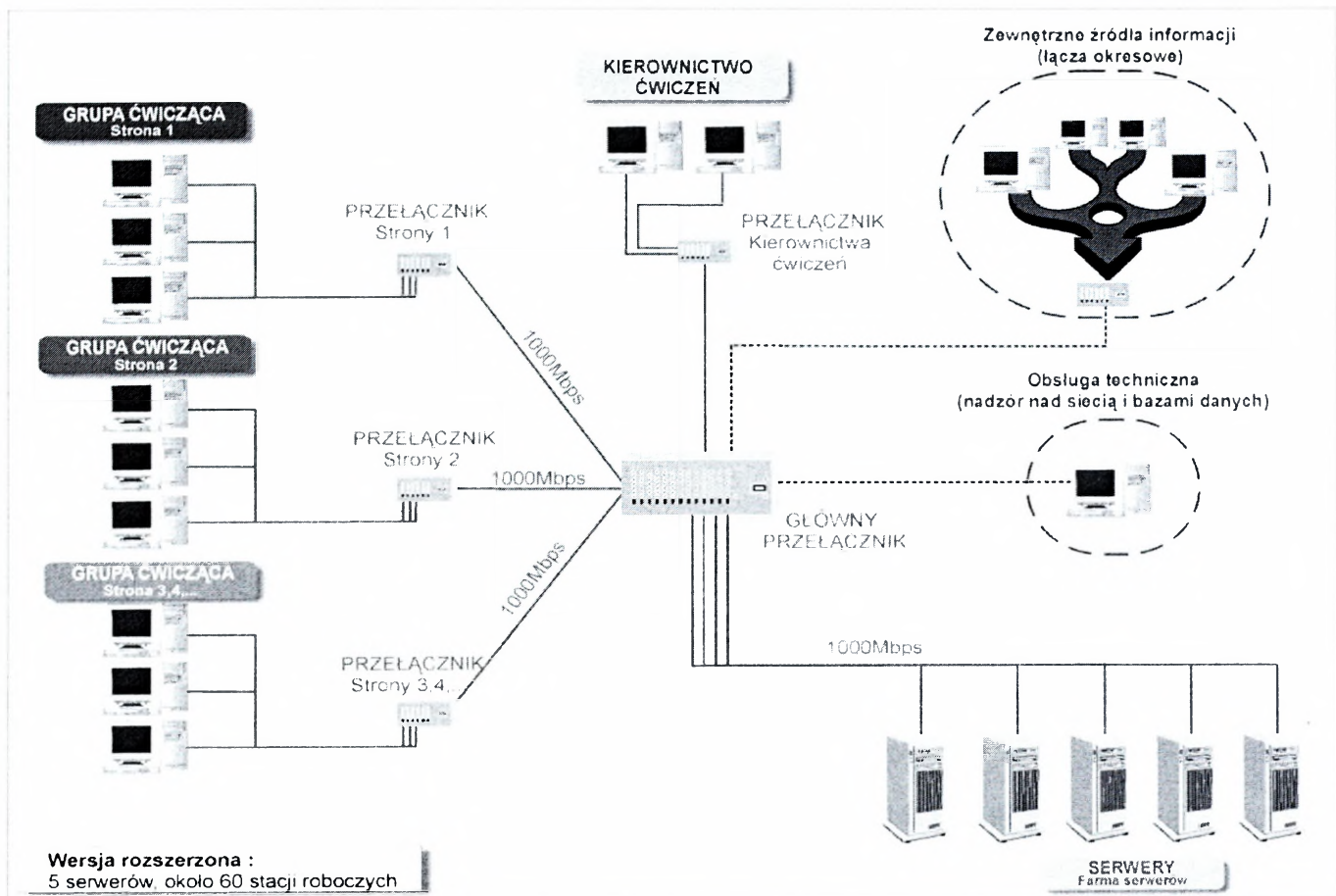
- Program symulacyjny – serwer SUN(Solaris)
- Serwer Bazy danych - serwer SUN(Oracle)
- Programy interfejsu - stacje robocze i terminale SUN(Solaris)
- Programy do rozproszonego wprowadzania danych na komputerach PC(Windows)

Przykład konfiguracji systemów JTLS i Złocięń w Centrum Symulacji i Komputerowych gier wojennych AON. Platforma oraz wymagania sprzętowo programowe systemów JTLS i Złocięń są bardzo zbliżone.



Rysunek 19. Konfiguracja systemu JTLS – wersja oszczędna.

/ źródło: Kalinski K, Pietrzak G., Boryn P., Symulacyjny system walki JTLS, Warszawa 2003/



Rysunek 20. Konfiguracja systemu JTLS – wersja rozszerzona.

/ źródło: Kalinski K, Pietrzak G., Boryn P., *Symulacyjny system walki JTLS*, Warszawa 2003/

4.1.4. Zdarzenia awaryjne błędy

Na etapie przygotowania danych scenariusza możemy wyróżnić następujące rodzaje błędów:

- błędy wprowadzania na poziomie pól kontrola wartości;
- błędy wprowadzania na poziomie rekordów;
- błędy logiczne;
- ostrzeżenia o sytuacjach nietypowych;
- błędy na poziomie programów przygotowujących dane go gry;
- błędy na poziomie programów konfiguracji interfejsu.

4.1.5. Uzyskany produkt

Przygotowanie scenariusza początkowo związane jest z przygotowaniem samej bazy danych scenariusza. Weryfikacja działania scenariusza najpierw w środowisku testowym później w środowisku docelowym powoduje, znaczne rozszerzenie zadań związanych z tym etapem.

W efekcie zakończenia fazy przygotowania scenariusza daje także znacznie więcej danych wynikowych. Do najważniejszych efektów omawianego etapu należy zaliczyć:

- bazę danych scenariusza nie zawierającą błędów;
- bazę danych o konfiguracji ćwiczenia: główne procesy, programy, użytkownicy hasła, drukarki, e-mail itp.;
- zagregowana bazę danych o scenariuszu;
- założenia dotyczące zakresu danych zbieranych dla etapu analizy;
- bazę konfiguracji programów zbierających dane dla etapu analizy;
- ustawienia dodatkowych narzędzi związanych ze współdziałaniem z innymi programami symulacyjnymi np. HLA, itp.
- wyniki pomiarów wydajności systemu przy określonym obciążeniu określające przykładowo: maksymalną prędkość gry.

4.2. Realizacja procesu symulacji

4.2.1. Ogólna procedura prowadzenia symulacji.

Na procedurę prowadzenia symulacji składa się kilka podstawowych grup operacji. Pierwszą grupą są operacje: uruchamianie, zatrzymywanie gry, restart gry. W drugiej grupie znajdują się operacje związane z wydawaniem rozkazów mające na celu sprawne kierowanie procesem symulacji. W trzeciej grupie są operacje związane ze wsparciem pracy operatorów. W czwartej grupie znajdują się zadania związane z wczesnym wykrywaniem przyszłych błędów symulacji. W ostatniej grupie znajdują się zadania związane z archiwizowaniem wyników procesu symulacji oraz gromadzeniem danych dla etapu analizy.

Start symulacji

Uruchomienie głównego programu symulacyjnego, programu do rozpowszechniania wyników symulacji oraz programów interfejsowych nie oznacza uruchomienia samej symulacji. Wykonanie wyżej wymienionych operacji powoduje, że całość systemu symulacyjnego zostaje wprowadzona w stan gotowości do rozpoczęcia symulacji. Rozpoczęcie samej symulacji następuje po wydaniu specjalnego rozkazu określającego prędkość symulacji tzn. stosu-

nek czasu na symulowanym polu walki do czasu rzeczywistego dla ćwiczących. Prędkość symulacji jest jednym z najistotniejszych czynników symulacji. Decyzja z jaką prędkością powinna odbywać się symulacja, czy powinna być ona stała przez cały czas trwania ćwiczenia, czy różna dla różnych etapów symulacji oraz czy ćwiczenia odbywają się w czasie ciągłym, czy z przerwami.

Rozpoczęcie symulacji nie musi oznaczać rozpoczęcia symulacji dla ćwiczących. Bardzo często symulacja jest uruchamiana w pewnym odstępie czasu od chwili rozpoczęcia symulacji dla ćwiczących. We wspomnianym okresie czasu mogą być zrealizowane dodatkowe operacje (rozказы) o charakterze przygotowawczym ustawiające określenie warunków początkowych. Nie wszystkie warunki początkowe można ustalić w bazie danych scenariusza. W przypadku nietypowych wymagań kontroler za pomocą dostępnych rozkazów może dokonać ostatniego szlifowania przed rozpoczęciem symulacji dla ćwiczących.

Kierowanie symulacją

Kierowanie procesem symulacji jest zadaniem kierownika ćwiczenia – użytkownika o specjalnych uprawnieniach, który dla sterowania procesem symulacji ma specjalnie dedykowany program. Kierownik ćwiczenia często jest nazywany także kontrolerem (dla podkreślenia jego wpływu na przebieg symulacji od strony oprogramowania przeznaczonego do kierowania procesem symulacji). Najczęściej program dla kontrolera i program dla ćwiczących to jeden i ten sam program (lub grupa programów). Program kontrolera posiada jednak jedną zasadniczą różnicę w stosunku do programów dla ćwiczących: kontroler widzi rzeczywistą i pełną sytuację na polu walki oraz ma specjalny zestaw menu umożliwiający wydawanie rozkazów, których nie mogą wydawać ćwiczący. Rozkazy specyficzne dla kontrolera można podzielić na kilka grup. Pierwszą grupą rozkazów są rozkazy typu utwórz – tworzą na polu walki „coś czego nie było” i „coś czego, ktoś wcześniej nie utworzył, a powinien” przykładowo: most, tunel, pas startowy itp. Druga grupa rozkazów to rozkazy typu „Zmień” jest to grupa określana często słowem „magiczna” tzn. zmieniająca pole walki w sposób, który nie jest możliwy do realizacji w rzeczywistości - przykładowo: można reaktywować zniszczoną jednostkę, zwiększyć jej zaopatrzenie, przesunąć ją na znaczne odległości (w zerowym czasie na symulowanym polu walki) itp. Trzecia grupa rozkazów to rozkazy typu set, które modyfikują parametry różnych procesów symulacji.

Kierowanie przebiegiem symulacji, to realizacja działań kontrolera związana z decyzjami kierownictwa ćwiczenia mającymi zapewnić zgodność realizacji ćwiczenia z wcześniejszymi założeniami. W sytuacji, kiedy aktualna sytuacja na symulowanym polu walki

zaczyna odbiegać od przyjętych założeń kontroler ćwiczenia najczęściej otrzymuje wskazówki, co powinno się stać oraz jaki powinien być wynik jego interwencji. W takiej sytuacji kontroler przedstawia alternatywne rozwiązania: w jaki sposób i jakimi możliwymi środkami (najczęściej dany problem można rozwiązać na wiele sposobów) tak, aby w minimalnym zakresie „zaburzyć” bieg ćwiczenia. Następnie wspólnie z kierownictwem ćwiczenia następuje wybór metody ingerencji w tok ćwiczenia i na zakończenie kontroler wprowadza zmiany do procesu symulacji.

Najlepszymi ćwiczeniami typu CAX są te ćwiczenia, w których kontroler poza startem i zatrzymaniem symulacji nie musi korzystać ze swoich możliwości zmiany procesu symulacji. W praktyce powyższa sytuacja zdarza się jednak rzadko.

Zatrzymywanie i restart symulacji.

Zatrzymywanie procesu symulacji może mieć charakter planowy lub charakter awaryjny. W zatrzymywaniu planowym kierownik ćwiczenia zatrzymuje symulację specjalnym rozkazem do zatrzymania symulacji. W niektórych systemach symulacyjnych możliwe jest wydanie rozkazu z planowanym czasem zatrzymania symulacji wtedy system symulacyjny po osiągnięciu określonego czasu zatrzyma się sam.

W przypadkach awaryjnych z wyłączeniem upadku systemu rozkaz do zatrzymania symulacji wydawany jest przez kontrolera.

Zatrzymanie procesu symulacji może nastąpić także w skutek upadku (ang. crash) systemu. W tym przypadku w zależności od tego czy dany system symulacyjny posiada taką funkcjonalność najważniejszą czynnością jest zeszkładowanie, zapamiętanie bieżących wyników symulacji.

Wczesne wykrywanie błędów następnego etapu symulacji

Wczesne wykrycie przyszłych błędów w trakcie symulacji jest bardzo istotnym elementem wsparcia technicznego ćwiczeń wspomaganych komputerowo. Odpowiednio wcześnie wykryty błąd może zostać poddany analizie, która pozwoli zlokalizować przyczynę błędu i następnie w uzgodnieniu między kontrolerem gry i kierownictwem ćwiczenia podjąć decyzję, w jaki sposób uniknąć wspomnianego błędu, aby miało to jak najmniejsze skutki uboczne dla ćwiczących.

Wczesne wykrywanie błędów umożliwia mechanizm przyspieszania symulacji w połączeniu z mechanizmem do składowania wyników symulacji w tzw. punktach kontrolnych. W celu przeprowadzenia wczesnego wykrywania błędów należy tylko przenieść, skopiować

bieżące dane z symulacji w inne miejsce i ustawić prędkość gry na kilkadziesiąt razy większą niż zastosowana w ćwiczeniu. Podstawowym problemem w usunięciu przyszłego błędu jest bardzo ograniczony czas na podjęcie decyzji: jak go usunąć łącznie z przeprowadzeniem jego usunięcia (w środowisku testowym). Na szanse realizacji powyższego zadania w znacznym stopniu ma wpływ posiadanie drugiego zdublowanego zespołu złożonego (minimum) z kontrolera oraz analityka modelu. Ten zespół powinien niezależnie i niejako w tle realizować procedury wykrywania przyszłych błędów oraz wypracowywać metody ich usuwania.

Archiwizacja wyników symulacji

Archiwizacja wyników symulacji najczęściej odbywa się automatycznie, co określony czas przykładowo: co 2 godziny. Archiwizacji wyników symulacji nie należy mylić z gromadzeniem danych dla potrzeb analizy. Archiwizacja wyników symulacji obejmuje wszystkie dane umożliwiające restart, wznowienie ćwiczenia po poprzednim zatrzymaniu lub awarii systemu.

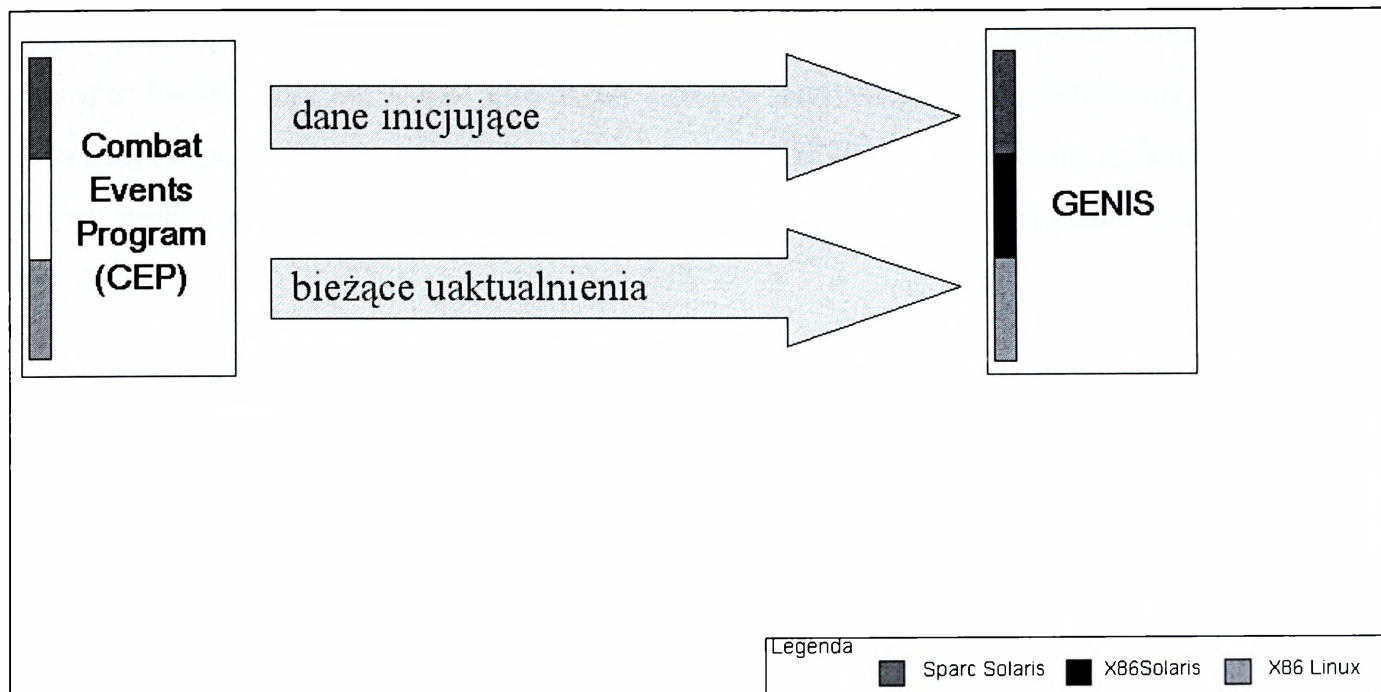
4.2.2. Oprogramowanie

Główny program symulacyjny

Proces symulacji we współczesnych systemach symulacyjnych ze względu na złożoność symulacji jest najczęściej realizowany przez oddzielny specjalnie tylko do tego celu dedykowany program. Dodatkowo często oprócz programu symulacyjnego stosowany jest program (lub programy), którego zadaniem jest przekazywanie wyników symulacji do różnego rodzaju programów interfejsowych oraz wprowadzanie do procesu symulacji danych w postaci rozkazów z programów interfejsowych. Rozwiązanie powyższe wynika z potrzeby odizolowania wszelkich programów i funkcji od samego procesu symulacji w celu osiągnięcia jego maksymalnej niezawodności oraz niezależności od oprogramowania, którego zadaniem jest tylko rozpowszechnianie wyników symulacji, komunikacja z użytkownikiem lub innymi systemami symulacyjnymi.

Przykład w systemie JTLS.

Główny program systemu JTLS (*Combat Events Program*) w skrócie CEP na podstawie danych inicjujących scenariusz przesyła dane inicjujące do procesu GENIS. Program CEP komunikuje się tylko z jednym głównym procesem GENIS przez protokół TCP/IP. W trakcie trwania symulacji do procesu GENIS przesyłane są bieżące uaktualnienia.



Rysunek 21. Wymiana informacji pomiędzy CEP a GENIS

Serwer bazy danych.

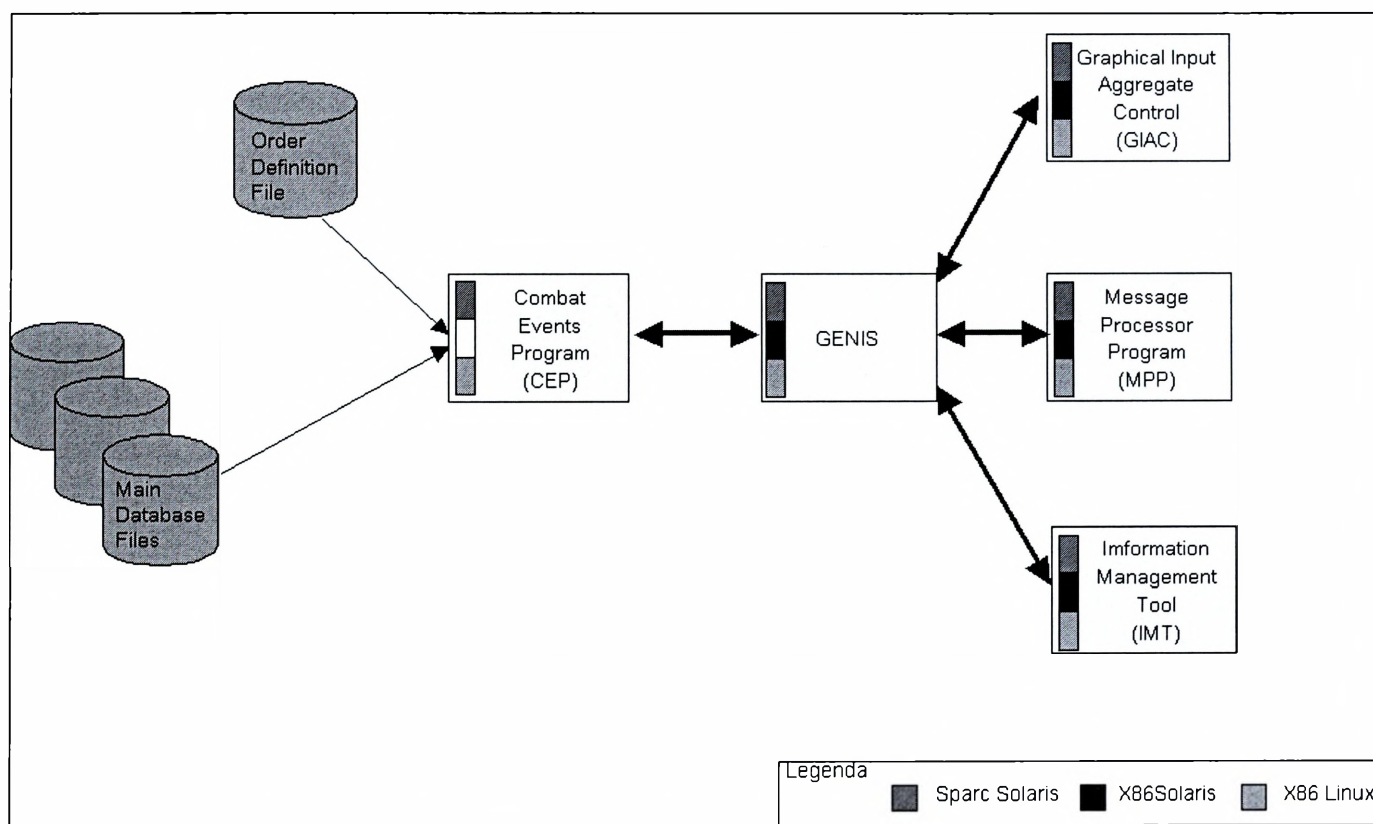
Serwer bazy danych może być wykorzystany na każdym z etapów od przygotowania poprzez symulację do fazy analizy i oceny wyników włącznie. W przypadku niektórych systemów symulacyjnych serwer może być nie wykorzystany w czasie symulacji. W tym przypadku serwer jest wykorzystywany do przygotowania danych i po zakończeniu etapu przygotowania danych są one następnie zapisywane do formatu zgodnego z tym, jaki może wczytać główny program symulacyjny.

Programy Interfejsu gracza

Programy interfejsu gracza można podzielić na trzy grupy: główny program, najczęściej graficzny zobrazowujący pole walki dla danej strony walczącej i dla danego gracza umożliwiający wydawanie rozkazów; program z wiadomościami przesyłanymi z głównego programu symulacyjnego oraz program umożliwiający przeglądanie danych z procesu symulacji w sposób zagregowany.

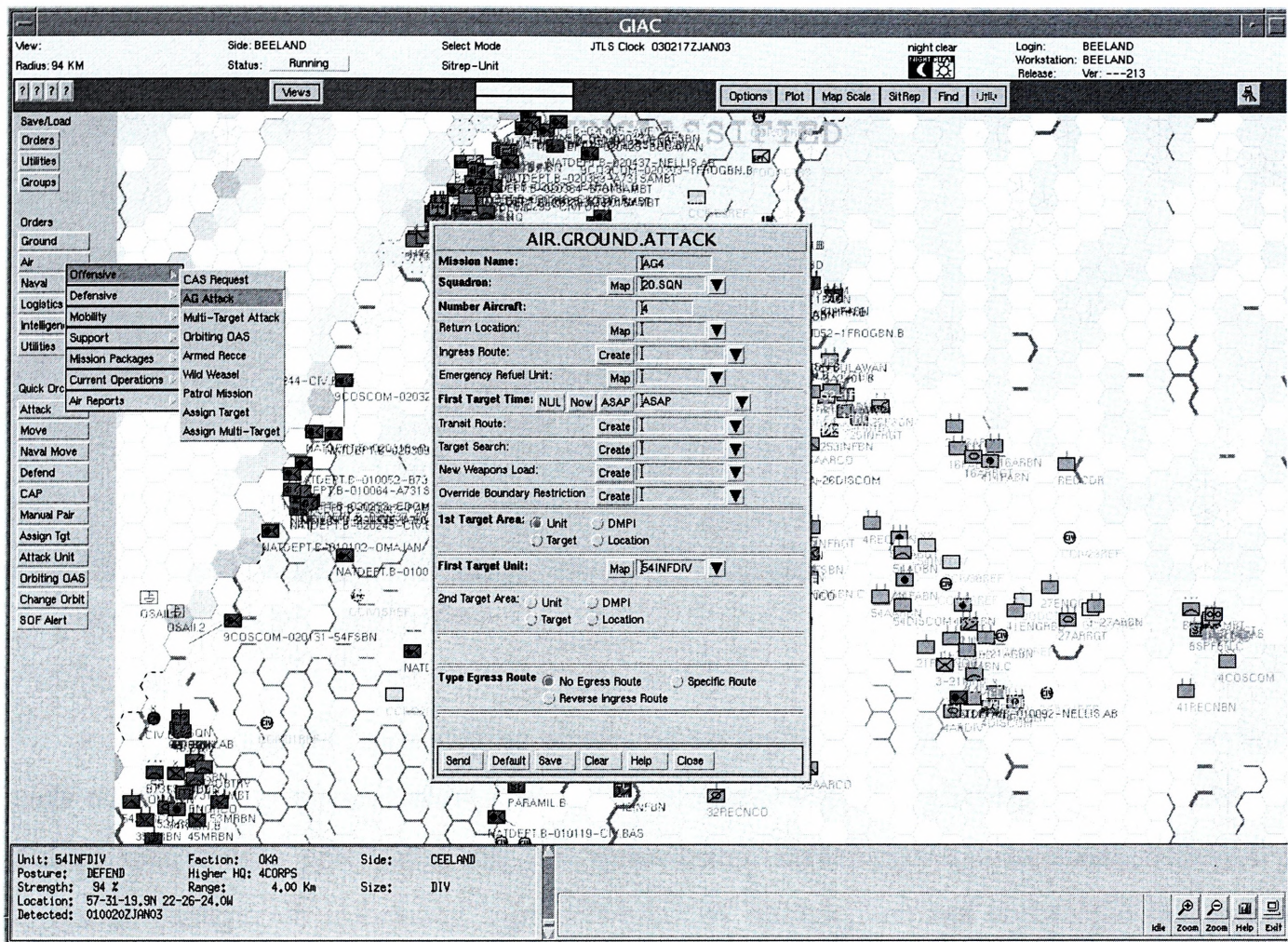
Jednym z istotnych kryteriów jest dostosowanie określonego programu (stanowiska) do określonego typu ćwiczącego – przykładowo gracz wojsk lądowych powinien mieć dostępne menu programowe typowe dla gracza wojsk lądowych, powinien mieć skonfigurowane filtry na wiadomości, które będą do niego docierały i które będą zgodne z jego charakterem działań. Dodatkowo ważnym elementem jest dodatkowa indywidualna personifikacja pozostałych ustawień wynikająca ze indywidualnych predyspozycji ćwiczącego.

Główny program systemu CEP korzysta ze zbioru danych zawierającego dane na temat scenariusza „*Order Definition File*”) oraz głównych zbiorów danych systemu. Dane uzyskane w wyniku symulacji przesyłane są następnie do programu GENIS, który z kolei przesyła je do programów interfejsu użytkownika systemu JTLS: programu GIAC, programu MPP oraz programu IMT.



Rysunek 22. Współpraca programu CEP z programem GENIS

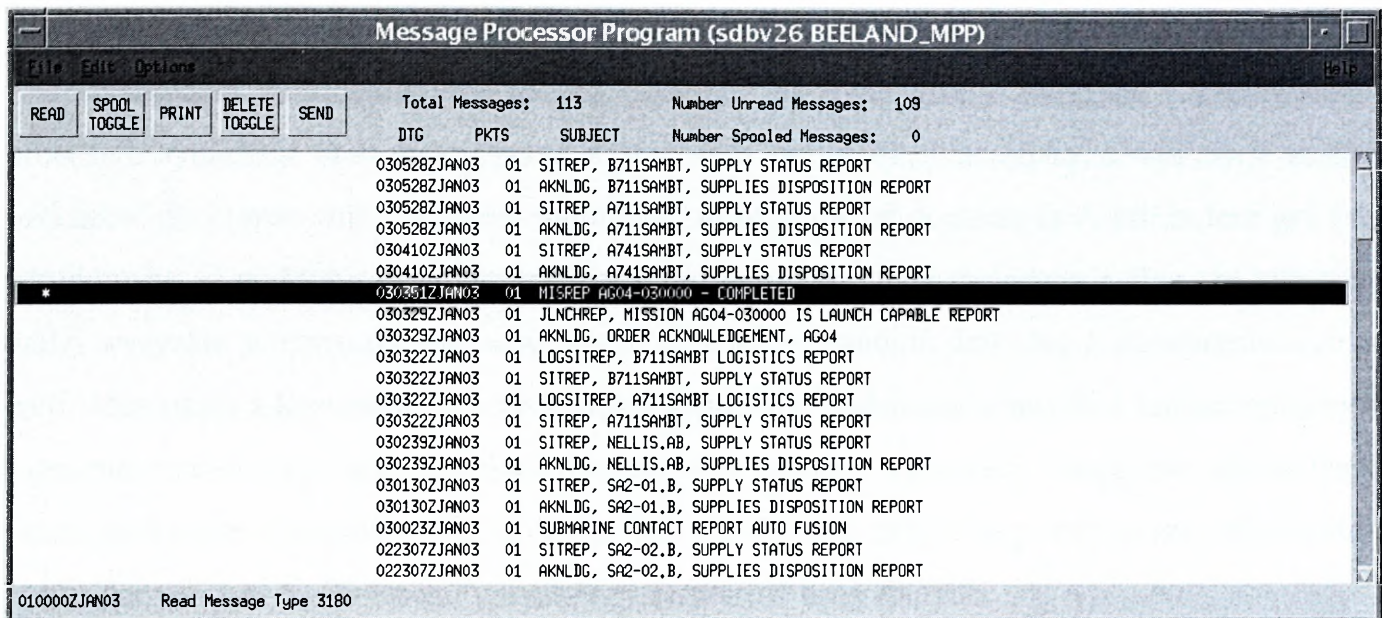
Program GIAC jest interfejsem pomiędzy ćwiczącym, a programem symulacyjnym CEP. Przy pomocy go programu można uzyskać podstawowe informacje takie jak: czas operacyjny, który upłynął od rozpoczęcia ćwiczenia, pora doby (noc, dzień), współrzędne geograficzne położenia jednostek. Możliwe jest także wydawanie rozkazów dla wszystkich podległych wojsk.



Rysunek 23. Program GIAC

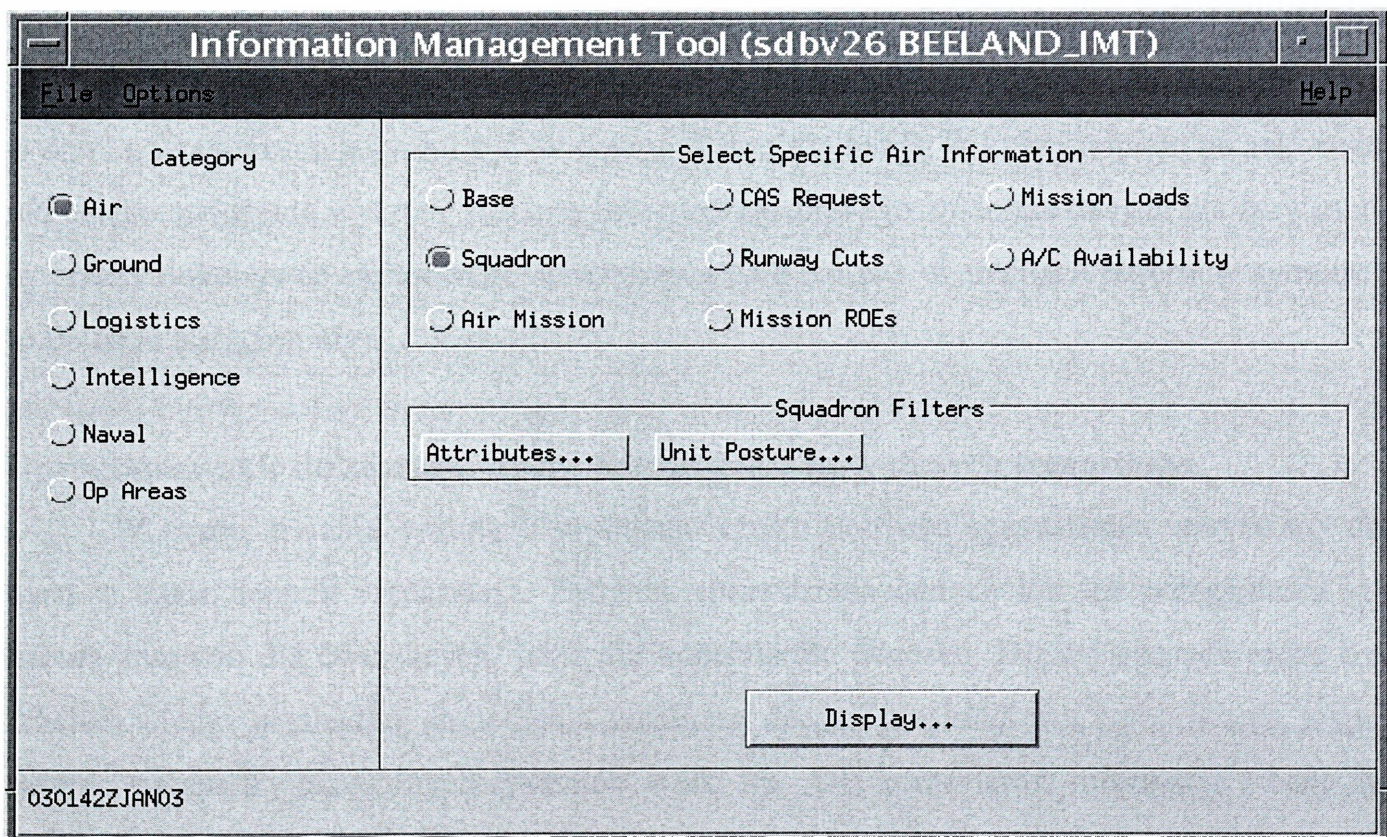
Program MPP umożliwia komunikowanie się użytkowników między sobą, a także komunikowanie się z programem symulacyjnym.

Poprzez program MPP ćwiczący wydający rozkaz otrzymuje wiadomość (od programu symulacyjnego) o błędach popełnionych przy wydawaniu rozkazu (np. niewłaściwie współrzędne położenia, nazwy jednostek). Przykładowe ekran z programu został przedstawiony na rysunku 24.



Rysunek 24. Program MPP

Program IMT pozwala na uzyskanie szczegółowych informacji na temat wybranych oddziałów, grup oddziałów lub innych elementów (np. logistycznych). Podstawową funkcją realizowaną przez aplikację jest sprawdzanie aktualnego statusu wojsk własnych i uzyskanie dostępnych informacji o przeciwniku. W aplikacji można wyświetlić informacje tylko o wybranych pododdziałach (oddziałach) – filtrowanie. Przykładowy ekran z programu IMT został przedstawiony na rysunku 25.



Rysunek 25. Program IMT

Narzędzia administracyjne

Narzędzia administracyjne można podzielić na dwie grupy związane z kierowaniem procesem symulacji oraz niezwiązane z procesem symulacji. Narzędzia, a właściwie zestaw rozkazów do kierowania procesem symulacji są najczęściej domeną tzw. kontrolera gry i są wbudowane w podobny interfejs graficzny do tego, jaki mają ćwiczący z tym, że kontroler widzi wszystko z teatru działań wojennych oraz może zmienić dowolny z parametrów symulacji. Narzędzia administracyjne do obsługi typowych zadań związanych z technologicznym zabezpieczeniem (np. stan pamięci dyskowych) procesu symulacji mogą być dostarczane przez producenta systemu symulacyjnego lub nie. Bardzo często są pozostawiane administratorom danych systemów operacyjnych, czy serwerów bazy danych.

Oprogramowanie zbierające dane dla fazy analizy

W fazie symulacji oprogramowanie zwierające dane dla fazy analizy powinno zostać uruchomione zgodnie z zadaną wcześniej i zatwierdzoną konfiguracją określającą zakres zbieranych danych. W trakcie symulacji istotny jest stały nadzór nad prawidłową pracą omawianego oprogramowania. Podstawowy problem polega na trudności wykrycia nieprawidłowej pracy omawianych programów. W przypadku błędów symulacji problem zostanie natychmiast zauważony. W przypadku zawieszenia programu zbierającego dane dla etapu analizy wykrycie tego faktu jest bardzo trudne. Jeszcze trudniejsze od zawieszenia tego typu programów jest wykrycie „gubienia” niektórych danych. Niestety błędy z gubieniem danych można wykryć po zakończeniu symulacji. W celu uniknięcia sytuacji, w której dopiero po zakończeniu całego ćwiczenia wykryty zostanie fakt nieprawidłowego zbierania danych dla fazy analizy należy dokonywać okresowego sprawdzenia tych danych w chwilach przerw w symulacji (o ile takie będą istniały).

Oprogramowanie do zagregowanego przeglądania bazy danych scenariusza

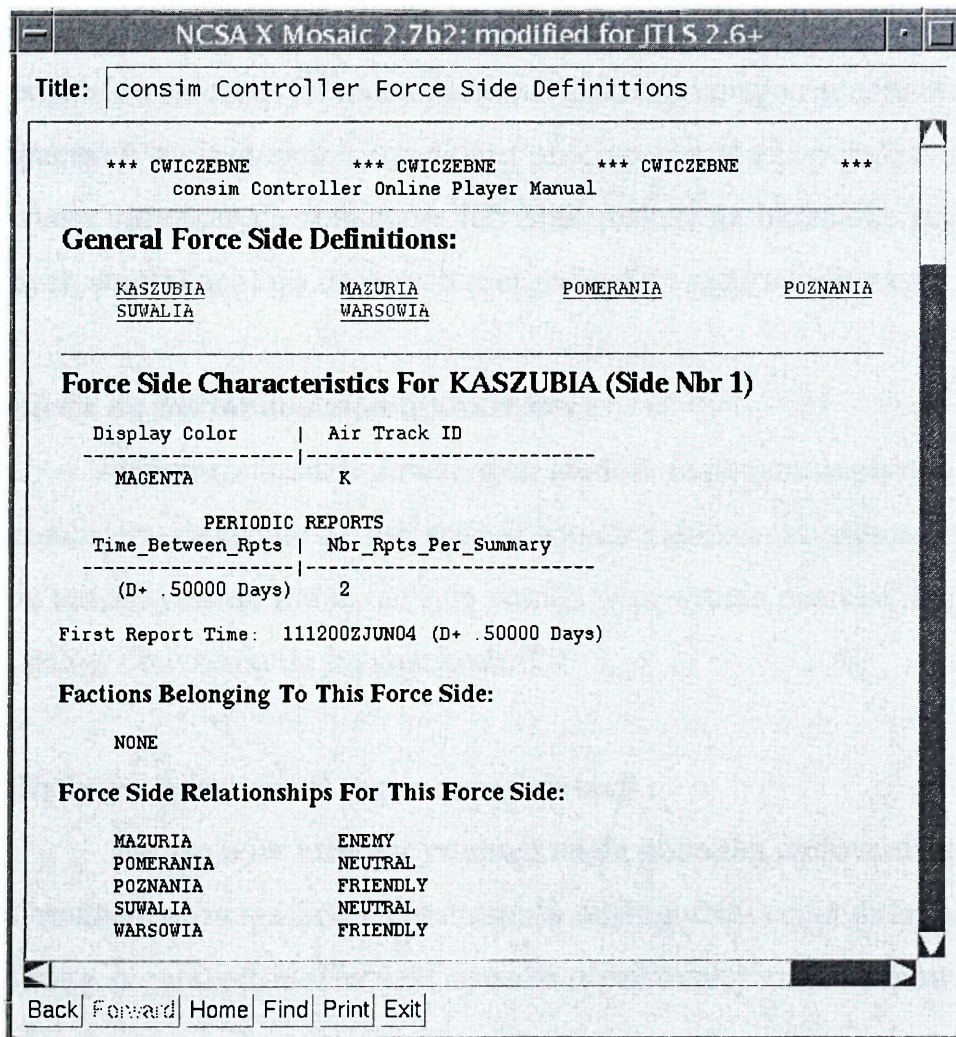
W czasie trwania symulacji występuje często potrzeba sprawdzenia weryfikacji danych w bazie danych scenariusza. Potrzeba sprawdzenia danych lub ich przeglądania jest istotna zarówno dla ćwiczących, jak i dla kontrolerów ćwiczeń. Dla ćwiczących może być źródłem wiedzy niezbędnej do podjęcia określonej decyzji przykładowo: ugrupowanie, wyposażenie, parametry określonych systemów walki itp. Dla kontrolerów informacje z bazy danych mogą być wskazówką do rozwiązywania problemów typu: system symulacyjny przyjmuje rozkaz, ale jednostka docelowa melduje o niemożliwości wykonania rozkazu (często

bardzo krótki i zwięzły komunikat z systemu nie wyjaśnia wszystkich przyczyn odmowy jego realizacji).

Przeglądanie bazy danych na potrzeby symulacji powinno być jednak zrealizowane w sposób zagregowany z możliwością dotarcia do istotnych parametrów i charakterystyk. Oprogramowanie powinno umożliwiać przede wszystkim wszechstronne przeszukiwanie bazy danych, a także łatwe przechodzenie pomiędzy poszczególnymi danymi oraz danymi z nimi powiązanymi.

Przykład w systemie JTLS

W systemie JTLS program OPM umożliwia przeglądanie bazy danych scenariusza w sposób zagregowany. Przykładowy ekran programu został przedstawiony na rysunku 26.



Rysunek 26. Program OPM

4.2.3. Konfiguracja sprzętowa

W konfiguracji sprzętowej należy wyróżnić cztery grup oprogramowania (na przykładzie systemów symulacyjnych JTLS i Złocięń):

- Program symulacyjny – serwer SUN(Solaris)
- Serwer Bazy danych - serwer SUN(Oracle)

Nie wykorzystywany w symulacji z wykorzystaniem systemu JTLS

Wykorzystywany w symulacji z wykorzystaniem symulacji systemu „Złocień”

- Programy interfejsu na stacjach roboczych lub terminalach

4.2.4. Zdarzenia awaryjne błędy

Błędy na poziomie głównego programu symulacji

Współczesne programy symulacyjne podobnie jak i większość oprogramowania na świecie podlegają ciągłemu rozwojowi i udoskonaleniom. Ze względu na swą złożoność, krótki czas na testowanie i wdrażanie pomiędzy kolejnymi wersjami występowanie błędów w procesie symulacji jest nieuniknione. Zakres różnego rodzaju błędów jest bardzo duży od krytycznych związanych z upadkiem procesu symulacji poprzez niezgodne z modelem realizowanie określonych rozkazów lub brak reakcji na określone rozkazy (przy bardzo specyficznych warunkach) do drobnych niezgodności i nieprawidłowości w realizacji symulacji.

Błędy na poziomie działań kontrolera.

Jednymi z bardzo poważnych błędów mającymi wpływ na przebieg symulacji są błędy kontrolera związane ze zmianą głównych założeń ćwiczenia. Niewystarczający brak wiedzy na temat systemu może nie tyle pomóc w powrocie symulacji na tory wcześniejszych założeń i celów ćwiczenia ile im zaszkodzić.

Błędy po interwencji w proces symulacji

Sytuacja, w której występuje nagła potrzeba wprowadzania znacznych zmian w proces symulacji wymaga od całego zespołu obsługi ćwiczenia dużej koncentracji oraz wyczucia od strony organizacyjnej w jaki sposób o zaistniałej zmianie powiadomić wszystkich uczestników ćwiczenia oraz ile dać im czasu na przygotowanie się do nowej sytuacji. Wytepienie błędów na tym etapie często jest wykorzystywane jako usprawiedliwienie wszystkich swoich późniejszych błędów ze strony ćwiczących.

Błędy operatorów systemów symulacyjnych

Operator w systemach symulacyjnych jest odpowiedzialny za odbiór i wprowadzanie danych w dużym uproszczeniu między ćwiczącym, a systemem symulacyjnym. Dążenie do jak najmniejszych zakłóceń w tej komunikacji nie umniejsza faktu, doświadczenie operatora będzie miało istotny wpływ na proces symulacji. Dotyczy to zwłaszcza interpretacji wyników z systemu symulacyjnego – system symulacyjny potrafi przesyłać setki elementarnych prostych wiadomości od zwykłego potwierdzenia rozkazu, poprzez meldunki o nie przyjęciu do realizacji rozkazów przez określoną jednostkę, aż do komunikatów o określonych zniszczeniach i stratach. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku zapytań ze strony ćwiczących o określone informacje z symulowanego pola walki, najczęściej informacje zagregowane, z określonymi kryteriami wyboru (filtr) oraz z określonymi atrybutami (polami) które mają być uwzględnione na zestawieniu i na raporcie. Ponieważ sposobów przedstawienia informacji może być wiele należy dokonać wszelkich starań, aby wspomnianą wyżej komunikację ze standaryzować i ujednolicić. W przeciwnym przypadku może się okazać, że najlepiej zrealizowali zadania ci z ćwiczących, którym przydzielono bardziej doświadczonych operatorów.

Brak reakcji systemu na przesłane rozkazy

W przypadku tego typu błędów możemy wyróżnić dwa zasadnicze przypadki. Pierwszy, w którym sam system symulacyjny nie wysłał potwierdzenia przyjęcia rozkazu. System symulacyjny zawsze powinien przesłać potwierdzenie przyjęcia rozkazu (poprawnego, jeżeli rozkaz jest nie poprawny to powinno to zostać wykryte na etapie samego jego wysyłania). Należy rozróżnić fakt przyjęcia rozkazu od jego realizacji w systemie symulacyjnym. Jeżeli realizacja nie będzie możliwa, to system prześle komunikat z podaniem przyczyn braku realizacji rozkazu.

Drugi przypadek dotyczy sytuacji, w której system wysłał potwierdzenie o przyjęciu rozkazu, ale nie wysłał meldunku o jego realizacji. Utrudnieniem jest fakt, że meldunek o realizacji nie musi zostać przesłany zaraz po wysłaniu rozkazu. Czas odpowiedzi jest także symulowany w systemach symulacyjnych i odpowiedź może nadejść z pewnym opóźnieniem. Jeżeli odpowiedź nie nadchodzi przez dłuższy czas operator powinien powiadomić o tym kontrolera w celu wyjaśnienia przyczyn takiego stanu. Operator nie powinien w żadnym wypadku jeszcze raz wysłać tego samego rozkazu.

4.2.5. Uzyskany produkt

Na etapie symulacji główny produkt można oceniać w dwóch płaszczyznach. Pierwszą jest sam proces symulacji, dla którego istotnymi parametrami są niezawodność, stopień wierności z rzeczywistymi działaniami, zgodność działania modeli symulacyjnych w oparciu o przygotowaną bazę danych scenariusza.

Drugą płaszczyzną oceny uzyskanego produktu jest jakość i kompletność danych uzyskanych w wyniku symulacji:

- dane z wyników symulacji;
- dane z działań ćwiczących (rozkazy);
- dane z działań kontrolera (rozkazy);
- wiadomości (w tym także raporty i zestawienia) przesyłane do kontrolera i ćwiczących.

4.3. Analiza wyników symulacji

W tym rozdziale omówienie etapu analizy zostało rozszerzone także na etapy wcześniejsze, ze względu na realizację zadań związanych z przygotowaniem danych do właściwego etapu analizy i oceny wyników symulacji. Niedostrzeganie faktu, że etap analizy rozpoczyna się od fazy przygotowania prowadzi do sytuacji, w której zespół odpowiedzialny za wykonanie analizy nie jest w stanie jej przeprowadzić zgodnie z wymaganiami sponsora i głównego uczestnika ćwiczenia CAX.

4.3.1. Ogólna procedura analizy wyników symulacji

Faza analizy i opracowania wyników jest ostatnią fazą ćwiczenia typu CAX. Jednak zadania związane z fazą analizy powinny być realizowane na wszystkich etapach począwszy od fazy przygotowania bazy danych. Na etapie przygotowania bazy danych należy uzgodnić jakie analizy i w jakiej formie będą zrealizowane dla wszystkich uczestników ćwiczenia. Powyższe uzgodnienia określą zakres danych, jaki będzie gromadzony w procesie symulacji dla etapu analizy. Na etapie symulacji zadania mające wpływ na etap analizy, to nadzór na pra-

widłową konfiguracją i działaniem programów do gromadzenia danych z procesu symulacji. Poprawne wykonanie wszystkich zadań w wyżej wspomnianych etapach zapewni dane do właściwego etapu analizy i opracowania wyników ćwiczenia typu CAX.

4.3.2. Oprogramowanie

Programy do zbierania danych z fazy symulacji

Zakres danych gromadzonych w czasie procesu symulacji zależy od wielu czynników: złożoności modelu symulacyjnego, wielkości, skali ćwiczenia oraz prędkości symulacji. W rzeczywistych zastosowaniach przy maksymalnych założeniach wyżej wymienionych kryteriów nie jest możliwe zapisywanie wszystkich danych z procesu symulacji. Wynika to z faktu, że wymagania na serwer bazy danych były by niewspółmiernie duże do wymagań serwera symulacji. Prawdą jest także, że idealne składowanie wszystkich danych nie zawsze jest potrzebne. Oczywiście zeskładowanie wszystkich danych byłoby najlepszym rozwiązaniem w przypadku zmiany założeń, co do wymagań fazy analizy.

W zależności od rodzaju zapamiętywanych danych należy wyróżnić ich cztery zasadnicze rodzaje:

- wyniki symulacji
- rozkazy ćwiczących
- rozkazy kontrolerów
- komunikaty przesyłane do ćwiczących oraz kontrolerów

Pierwszy rodzaj określający wyniki symulacji można rozbić na wiele grup danych wynikających z głównych typów danych związanych z danym modelem symulacyjnym oraz rodzajami sił zbrojnych. Dla każdego z rodzaju sił zbrojnych i rodzaju działań można dokładnie określić, jakie dane szczegółowe powinny być zbierane oraz w jakim odstępie czasu. Odstęp czasu, w którym zbierane są dane będzie się zasadniczo różnił dla różnych rodzajów sił zbrojnych – przykładowo wojska lądowe oraz lotnictwo. W przypadku lotnictwa ze względu na szybkość zbierania danych bardzo często wydzielane są dodatkowe programy do zbierania danych z procesu symulacji.

Programy do konfiguracji zakresu danych z symulacji. W przypadku, gdy dane z procesu symulacji nie są zbierane w sposób ciągły i w pełnym zakresie, należy dokładnie określić: jakie dane i co jaki czas powinny być zeskładowane w trakcie symulacji.

Narzędzia do analizy danych. Narzędzia do analizy danych są najmniej rozwijanym przez producentów symulacyjnych rodzajem oprogramowania. Przyczyna tego faktu tkwi w bardzo różnych potrzebach poszczególnych użytkowników, które bardzo często wspomagane są przez własne oprogramowanie będące wynikiem specyficznych doświadczeń i uwarunkowań, ale także obowiązujących standardów w danym kraju. Z pewną pomocą w przypadku systemów symulacyjnych o charakterze globalnym przychodzą organizacje takie, jak NC3A, które tworzą własne narzędzia niezależnie od producentów systemów symulacyjnych oraz udostępniają je innym ośrodkom symulacyjnym. Przykładem takiego oprogramowania jest program CADIE dedykowany dla systemu JTLS.

4.3.3. Konfiguracja sprzętowa

W konfiguracji sprzętowej należy wyróżnić cztery grup oprogramowania (na przykładzie systemów symulacyjnych JTLS i Złocień):

Program symulacyjny	- SUN(Solaris)
Serwer Bazy danych	- SUN(Oracle)
Programu do analizy danych na stacjach roboczych	SUN(Solaris)
lub komputerach PC (Windows)	

4.3.4. Zdarzenia awaryjne błędy

Zdarzenia awaryjne związane ze gromadzeniem danych dla etapu analizy są trudne do wykrycia. W porównaniu do etapu przygotowania, gdzie po wykryciu błędu istnieje możliwość jego lokalizacji oraz naprawy, błąd związany z gromadzeniem danych z procesu symulacji nie będzie miał dodatkowej szansy na jego usunięcie. Ćwiczenie – symulacja odbędzie się tylko raz i nie będzie powtórzone w celu poprawnego zbierania danych dla etapu analizy.

Zmiany założeń, co do zakresu danych wymaganych do fazy analizy

Jednym z najczęstszych i najcięższych błędów związanych z fazą analizy jest niedokładnie lub nieprecyzyjne określenie celów analizy, zakresów analizy, sposobem przedstawienia i zagregowania wyników analizy itp. Rzadko kiedy, ale zdarzają się przypadki nie zatwierdzenia dokumentów związanych z fazą analizy przed rozpoczęciem fazy symulacji.

Błędna konfiguracja zakresu gromadzonych danych

Błędy w konfiguracji zakresu gromadzonych danych wynikają głównie z częstych zmian w zakresie wymagań, co do zakresu danych, które mają zostać gromadzone w trakcie symulacji. W celu ich uniknięcia należy zawsze na bieżąco zmieniać konfigurację głównych programów zbierających dane do fazy analizy po każdej zmianie wymagań. Należy także po każdej zmianie konfiguracji zeszkładować, zapamiętać wynikowe pliki z konfiguracją oraz dokładnie je opisać (może się zdarzyć, że będzie trzeba powrócić do konfiguracji wcześniejszej). Pozostawianie wprowadzania zmian na ostatnią chwilę może spowodować, że nie zostaną one wprowadzone lub nie zostaną wprowadzone wszystkie zmiany i poprawki. Niestety bardzo często tak się dzieje, ponieważ wszystkie zespoły w tym czasie są skoncentrowane na zadaniu głównym związanym z przygotowaniem i uruchamianiem samej symulacji.

Niestety nawet po najlepiej przeprowadzonym ćwiczeniu wspomaganym komputerowo brak lub niezgodność zakresu danych, który był przewidziany na fazę analizy może przekreślić cały wielomiesięczny wysiłek związany z opracowaniem i przygotowaniem całego ćwiczenia.

Błędy tego typu mają o wiele mniejsze znaczenie, gdy mamy do czynienia z narzędziami zintegrowanymi, które gromadzą całe wyniki symulacji w sposób ciągły.

Niedostosowanie prędkości symulacji do szybkości zapisywania wyników symulacji

W trakcie przygotowywania danych scenariusza w końcowej fazie przygotowania dynamicznego należy wykonać pomiary związane z obciążeniami: tzn., jaka maksymalna prędkość symulacji przy zadanej (i w uruchomionej) konfiguracji.

Zawieszenia programów zbierających dane do fazy analizy

Zawieszenia programów związanych ze zbieraniem danych z symulacji mogą mieć wiele przyczyn. Na zawieszenie lub błędną pracę omawianych programów mogą mieć nie tylko wpływ uwarunkowania wynikające ze wspólnej pracy z programami pracującymi dla samej symulacji, ale mogą to być także typowe błędy programowe: przykładowo błędy serwera bazy danych.

Jednym a najczęstszych błędów jest niewystarczający nadzór nad zasobami systemu głównie pamięci dyskowej serwera, na którym uruchomiony jest główny program symulacyjny oraz serwera bazy danych. Ważnym elementem jest posiadanie rozwiązań, które zapewnią zwalnianie określonych zasobów z pewnym wyprzedzeniem wraz z ich składowaniem.

4.3.5. Uzyskany produkt

W wyniku zakończenia etapu analizy otrzymujemy zagregowane dane z wyników analizy z podziałem na poszczególnych uczestników ćwiczenie w określonych zestawieniach. Uzyskane wyniki analizy oraz sposób ich wykonania i przygotowania powinny być zgodne i dostosowane do głównych celów i korzyści (z punktu widzenia sponsora ćwiczenia oraz jego głównego uczestnika), jakie mały zostać osiągnięte dzięki ćwiczeniu typu CAX.

Po zrealizowaniu głównych zadań wspomnianych wyżej, etap analizy powinien także dostarczyć informacji, istotnych z punktu widzenia Centrum Symulacji, które przygotowało ćwiczenie. Nie udokumentowanie oraz nie zebranie wszystkich materiałów w jednym miejscu spowoduje, że przy kolejnej realizacji nowego ćwiczenia (scenariusza) nie zostaną wykorzystane wcześniejsze doświadczenia, które w metodykach zarządzania nie bez przyczyny określane są jako „nauczki z poprzedniej realizacji” (przedsięwzięcia).

Zakończenie

W opracowaniu przedstawiona została synteza badań ogólnoteoretycznych, jakie autorzy przeprowadzili nad systemami symulacyjnymi walki. Analiza prowadzona była na podstawie literatury i innych materiałów źródłowych (zwartych, luźnych, Internetowych, seminariów i konferencji oraz szkoleń programowych) dotyczących eksploatacji systemów symulacyjnych. Ważnym okazały się być procesy: **wdrożenia** (systemu i personelu), **eksploatacji właściwej** (organizacji *front-end*'u i *back-end*'u), **modyfikacji** (podnoszenia jakości ich funkcjonalności i ich rozszerzenia). Nic innego niż to wszystko, co zawiera się w nurcie **inżynierii oprogramowania** (systemów informatycznych). Wiedzy, którą ludzie zajmujący się systemami informatycznymi (mający podstawy wypowiadać się), szczególnie ich eksploatacją, zgromadzili, usystematyzowali, uogólnili i formie instrukcji, zaleceń, dyrektyw i metodyk przedstawiają innym, aby nie popełniali zasadniczych błędów, by ich działanie w tym zakresie mogło zakończyć się sukcesem!

Ze względu na jednostkowe, jak dotychczas, doświadczenia autorów w eksploatacji systemów symulacyjnych walki (JTLS), nie możliwe okazało się opracowanie w pełni dojrzałej metodyki opracowania eksperymentu symulacyjnego. Wiedza teoretyczna w obszarze inżynierii może okazać się mocno niewystarczająca. W praktycznej działalności, życie potrafi przynieść to, czego nie dostrzeżono wcześniej, tam, gdzie się nie spodziewano!

Prezentowane opracowanie powinno zwrócić baczniejszą uwagę decydom i szkolonym na problemy metodyczne w użytkowaniu systemów symulacyjnych walki.

Bibliografia

1. Ackoff R. L., Decyzje optymalne w badaniach stosowanych, PWN, 1969
2. Aggregated Combat Models, Operations Research Department Naval Postgraduate School Monterey, California 2000
3. Averill M. Law, W. David Kelton, Simulation Modeling & Analysis, McGraw-Hill, 1982
4. Bojarski Wł., Podstawy analizy i inżynierii systemów PWN, 1984
5. Cempel Cz., Teoria i inżynieria systemów,
<http://www.pbn.pl/Delphi/Program/CASE.htm>
6. Dokumentacja eksploatacyjna SSWSO „Złocień”, 2004
7. Filozofia a nauka. Zarys encyklopedyczny, PAN, Wydział Nauk Społecznych, Komitet Nauk Filozoficznych, 1987
8. Findeisen Wł. (red), Analiza systemowa – podstawy i metodologia, PWN, 1985
9. Fishman G., Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody, PWE, 1981
10. Gutenbaum J., Modelowanie matematyczne systemów, PWN, 1987
11. JTLS Executive Overview, Defense Information Systems Agency, 2002
12. Kalinski K, Pietrzak G., Boryn P., Symulacyjny system walki JTLS, Warszawa 2003
13. Kłodziński E., Metody symulacyjne badania systemów. Wprowadzenie do badań systemów metodą symulacji cyfrowej, WAT, 1984
14. Kłodziński E., Symulacyjne metody badania systemów, PWN, 2002
15. Kłodziński E., Symulacyjne metody badania systemów, Zeszyt 1 – 5, WAT, 1983.
16. Knetki J., Wieleba R., Wocial J., Analiza porównawcza modeli i systemów symulacyjnych w aspekcie ich funkcjonalności na potrzeby ćwiczeń typu CAX, AON, 2004
17. Knetki J., Wieleba R., Wocial J., Model informatycznego wspomaganie zespołu autorskiego ćwiczeń dowódczo sztabowych w AON – Technologie informatyczne, AON, 2003
18. Mańczak K., Technika planowania eksperymentu, WNT, 1976
19. Pisecki St., Chojnacki A., Teoria badań operacji. Planowanie operacji wojennych, WAT, 1973
20. Rajski J., Tyszer J., Modelowanie i symulacja cyfrowa, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 1986
21. Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J., Symulacyjny model walki szczebla taktycznego. Synteza symulacyjnych systemów walki, AON, 2002
22. Sienkiewicz P., Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania, Wyd. Bellona, 1994
23. Sienkiewicz P., Inżynieria systemów. Wybrane zastosowania wojskowe, Wyd. MON, 1983
24. Wieleba R., Wocial J., Symulacyjny model walki szczebla taktycznego. Użytkowanie symulacyjnych systemów walki, AON, 2003
25. Wójcicki R., Teorie w nauce. Wstęp do logiki, metodologii i filozofii nauki, PAN, Instytut Filozofii i Socjologii, 1991
26. Wójcik A. R., Laudański Z, Planowanie i wnioskowanie statystyczne w oświadczałnictwie, PWN, 1989

