

Jakub STEFANIAK

## SYMULACJE KOMPUTEROWE W CYKLU ROZWOJU POJAZDÓW O CHARAKTERZE MILITARNYM

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania zaawansowanego symulatora pola walki VBS2 jako zintegrowanego narzędzia wspierającego proces projektowania, analizowania i testowania pojazdów o charakterze militarnym. Na wstępie dokonano analizy porównawczej aktualnie istniejących metod prototypowania. Następnie opisane zostały profity płynące z zastosowania symulacji komputerowej, analizowane pod kątem pracochłonności, czasochłonności i jakości efektów pracy. Zaprezentowana została możliwość wykorzystywania istniejących już wirtualnych elementów jako modułów projektowanych pojazdów. Przedstawiono również możliwości wykorzystania symulacji komputerowych w projektach innowacyjnych, a także przy tworzeniu algorytmów sztucznej inteligencji pojazdów bezzałogowych. W ostatniej części artykułu opisano możliwość wykorzystywania otrzymywanych pośrednio wyników symulacji na rzecz tworzenia oprogramowania dla urządzeń treningowych, a także materiałów o charakterze marketingowym.

**Słowa kluczowe:** informatyka, symulacje komputerowe, prototypowanie, wirtualne pole walki.

### 1. WPROWADZENIE

Proces zaprojektowania i wykonania dowolnego pojazdu każdorazowo jest bardzo kosztowny i czasochłonny. Doskonałym przykładem jest chwalony ze względu na wyjątkowo krótki czas realizacji projekt „Lekki czołg na bazie wielozadaniowej platformy bojowej [1], który został przygotowany i wykonany w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Urządzeń Mechanicznych „OBRUM” sp. z o.o. Stworzenie w jego ramach demonstratora technologii zajęło dwa lata, zaś koszt projektu (sfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego) wyniósł parędziesiąt milionów złotych. Zazwyczaj zarówno czas, jak i koszt tego typu przedsięwzięć są znacznie większe.

Projektowane pojazdy o charakterze militarnym muszą nie tylko spełniać wymagania techniczno-ekonomiczne stawiane wszystkim pojazdom (maksymalne bezpieczeństwo, ergonomia i estetyka techniczna, ekonomiczność rozwiązań itd.), ale ze względu na swoje przeznaczenie także liczne wymagania taktyczno-techniczne, dotyczące m.in. niezawodności, podatności transportowej, skrytości i maskowania; a także liczne założenia specjalne, wynikające z indywidualnego charakteru konkretnego projektu. Spełnienie wszystkich tych, nierzadko sprzecznych ze sobą, wymagań jest bardzo czasochłonne i pracochłonne.

Już teraz techniki prototypowania wirtualnego, takie jak komputerowo wspomagane projektowanie CAD czy systemy symulacji mechanicznej SSM, są nieodłącznym elementem projektowania i analizy poszczególnych elementów każdego projektu. Kolejnym krokiem w celu zoptymalizowania cyklu rozwoju pojazdów o charakterze militarnym jest zastąpienie tych licznych, niesprzężonych ze sobą metod i programów poprzez jeden zintegrowany system symulacyjny.

Na chwilę obecną nie istnieją aplikacje, które z definicji pełniłyby rolę zintegrowanego systemu symulacyjnego dedykowanego do wspierania procesu budowy pojazdów wojskowych, takich jak chociażby wykorzystywane w innych dziedzinach OMNeT++ (budowanie sieci komputerowych) czy WXSIM (prognozowanie pogody).

Możliwe jest jednak wykorzystanie w tym charakterze zaawansowanych symulatorów pola walki: Virtual Battle Space 2 [8].

## 2. TRADYCYJNY PROCES ROZWOJU, PROTOTYPOWANIE WIRTUALNE, A SYMULACJE KOMPUTEROWE

Tradycyjne rozwiązanie, oparte o budowanie i testowanie modeli fizycznych, jest bardzo drogie i czasochłonne. Stworzenie dowolnego rzeczywistego modelu, ze względu chociażby na koszt użytych materiałów, wielokrotnie przekracza cenę modelu wirtualnego. Przykładem niech będzie KTO Rosomak – cena rynkowa jednej sztuki szacowana jest na około 15 mln zł [7], podczas gdy koszt stworzenia jego wirtualnego modelu (rys. 1) na potrzeby Kompleksowego Symulatora Strzelań dla Załogi KTO Rosomak wykonanego w OBRUM sp. z o.o. był około kilka rzędów wielkości mniejszy.



**Rys.1. Widok przedstawiający stworzony w OBRUM sp. z o.o. wirtualny model wersji bazowej KTO Rosomak**

W żaden sposób nie można uniknąć tego problemu w trakcie tradycyjnego prototypowania dowolnego pojazdu, gdzie jako pierwowzory każdego elementu najpierw wykonuje się modele z gliny bądź innego materiału plastycznego. Następnie na ich podstawie kreśli się rysunki wykonawcze, które z kolei stanowią podstawę dla budowy rzeczywistego prototypu danej części. Prototyp ten poddaje się badaniom testującym, na podstawie których wprowadza się poprawki – co zazwyczaj wiąże się z koniecznością stworzenia nowego prototypu, a więc proces jest powtarzany. Osiągnięcie zadowalającego rezultatu zwykle poprzedzone jest wykonaniem kilku, a niekiedy nawet kilkunastu, iteracji projektowych [5].

Wykorzystanie technik prototypowania wirtualnego znacząco ogranicza powyższe koszty. W ramach tej technologii tworzone są, po opracowaniu koncepcji pojazdu, jego wirtualne modele, które następnie poddawane są symulacjom dynamicznym i kinematycznym. Podstawowym problemem pozostaje jednak fakt, że poszczególne zagadnienia analizowane są w sposób autonomiczny, co wymusza tworzenie oddzielnej, dedykowanej symulacji numerycznej dla każdego zagadnienia.

Przykładowo, opracowanie w ramach jednego projektu takich analiz jak:

- analiza możliwości pokonywania przeszkód wodnych przez czołg,
- analiza obciążeń działających na czołg w działaniach specjalnych (przy wybuchu miny, IED lub strzelaniu z własnej armaty),
- analiza zagrożeń bojowych czołgów,

nie umożliwi nam odpowiedzi na pytanie, co dokładnie stanie się z czołgiem w sytuacji łączonej, w czasie której np. czołg w trakcie przekraczania brodu, prowadząc ostrzał z własnej armaty, najedzie na minę przeciwgąsienicową.

Rozwiązaniem powyższego mankamentu jest użycie jednego, zintegrowanego silnika symulacji, umożliwiającego odwzorowanie każdej sytuacji, w której obiekt może znaleźć się w fizycznym świecie.

### 3. MODUŁOWOŚĆ SILNIKÓW SYMULACYJNYCH

Ogromną zaletą zastosowania zintegrowanego silnika symulacyjnego jest jego uniwersalność, a także modułowość. Przykładowo, raz stworzony model miny przeciwgąsienicowej, osadzony w wirtualnym świecie, może służyć do wielokrotnego testowania destrukcyjnego działania na różne pojazdy w różnych warunkach. Zastosowanie paradygmatu programowania obiektowego (ang. object-oriented programming) gwarantuje ogromną uniwersalność: programista tworzący moduł miny skupia się jedynie na odwzorowaniu zjawisk fizycznych związanych z mocą jej ładunku. Nie musi na tym etapie wiedzieć ani w jakich warunkach (powietrze, woda, zakopanie pod ziemią) nastąpi wybuch, ani na jakie obiekty będzie oddziaływać – w zależności od zadanych w późniejszym czasie parametrów zostanie to obliczone komputerowo przez system symulacji. Dzięki temu raz stworzony moduł miny może służyć nam wielokrotnie, nie wymagając już dalszego nakładu czasu pracy, a tym samym nie generując kosztów.

Co więcej, ta sama modułowość dotyczy elementów, z których składa się pojazd. Raz zaprogramowany element, taki jak np. armata, gąsienica, koło, lekki system osłon itd. może być wykorzystany wielokrotnie – oczywiście wystrzał z armaty typu Mk44 Bushmaster II wywoła inne obciążenia dynamiczne na KTO Rosomak, inne na Combat Vehicle 90, a jeszcze inne na BWP oparty o wielozadaniową platformę bojową ANDERS. Jednak tworzący moduł armaty programista uwzględnić musi jedynie siłę odrzutu wynikającą z jej konstrukcji, zaś finalny wpływ na dowolny obiekt obliczany jest w czasie wystrzału przez system symulacyjny.

Na rys. 2 oraz rys. 3 zaprezentowany został przykład wykorzystania modułu amerykańskiego wielkokalibrowego karabinu maszynowego M2, dostępnego w bibliotece standardowej VBS2, w trzech różnych pojazdach. Zaimplementowanie algorytmiki gotowej broni w dowolnym pojeździe ogranicza się do napisania paru linii kodu.

W efekcie tworzenie modeli nowo powstających pojazdów, dzięki wykorzystaniu istniejących modułów, jest stosunkowo szybkie i proste. Co ważne, nie jest konieczne własnoręczne tworzenie wszystkich obiektów – wraz z oprogramowaniem VBS2 dostarczana jest wielotysięczna biblioteka zawierająca gotowe egzemplarze między innymi pojazdów (rys. 2, rys. 3 i rys. 5), broni, amunicji, a także statycznych elementów, takich jak: tarcze strzelnicze i budynki. Istnieją również firmy [10], [11], które komercyjnie zajmują się tworzeniem dedykowanych modeli na zamówienie, a także tworzone przez entuzjastów darmowe biblioteki internetowe [9], z których można pobrać gotowe modele.



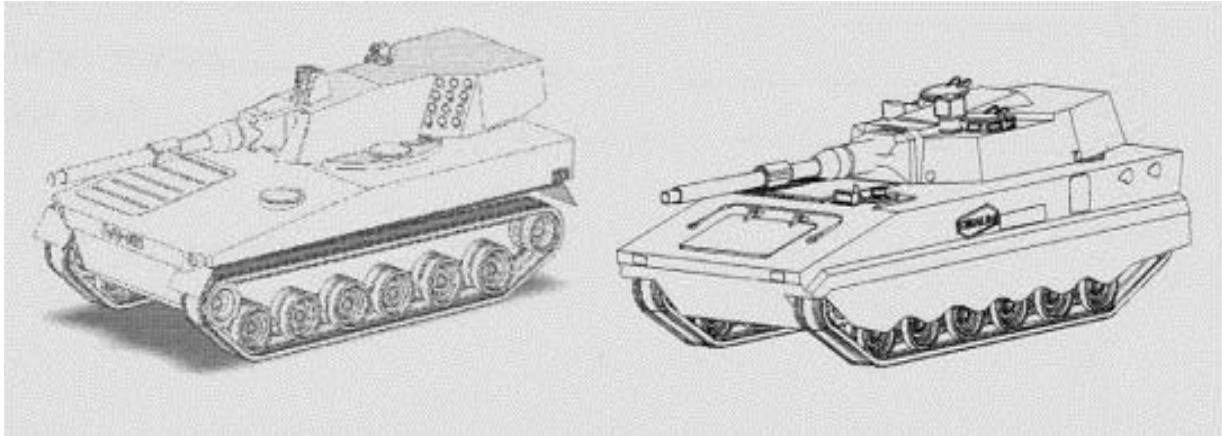
**Rys. 2. Widok przedstawiający brytyjski samochód terenowy Land Rover Defender 110 SRV 4x4 (po lewej) oraz nowozelandzki SOV 6x6 (po prawej)**



**Rys.3. Widok przedstawiający amerykański transporter opancerzony M113A4**

Szczególnym przypadkiem wykorzystania modułowości systemów symulacyjnych jest rozwiązywanie problemów o charakterze koncepcyjnym.

Nieodłącznym elementem opracowywania docelowej konfiguracji pojazdu jest proces analizy i wyboru optymalnych elementów, takich jak chociażby uzbrojenie czy systemy osłon. Zastosowanie silnika symulacyjnego umożliwia stosunkowo łatwe zaimplementowanie dowolnej konfiguracji w wersji wirtualnej, po czym przetestowanie wszystkich potencjalnych konfiguracji w zadanych warunkach, umożliwiając pełniejszą analizę niż jakiegokolwiek prace o charakterze czysto teoretycznym.



**Rys. 4. Dwie koncepcje opracowane w OBRUM sp. z o.o. w ramach projektu „Lekki Czołg na bazie wielozadaniowej platformy bojowej” [6]**

#### **4. SYMULACJA ROZWIĄZAŃ INNOWACYJNYCH I PIONIERSKICH**

Pojazdy o charakterze militarnym często charakteryzują się bardzo indywidualnymi, innowacyjnymi zastosowaniami. Mowa tu chociażby o różnego rodzaju maszynach inżynieryjno-drogowych (rys. 5), mostach bojowych czy mostach pontonowych.



**Rys. 5. Widok przedstawiający pojazd inżynieryjny MPEV**

Przy tego typu projektach, nierzadko wdrażających pionierskie rozwiązania, zalety zastosowania zintegrowanego silnika symulacyjnego są dwojakie.

Kluczowym problemem pionierskich rozwiązań jest to, że niemożliwe jest odniesienie wyników symulacji do czegokolwiek, co już by istniało. W związku z tym występuje podwyższone ryzyko, że jakikolwiek obliczeniowy błąd mógłby zostać niezauważony, aż do momentu stworzenia prototypu.

Wspominany powyżej paradygmat programowania obiektowego rozwiązuje ten problem – tworząc model pojazdu skupiamy się tylko na jego koncepcji, po czym umieszczamy go w świecie wirtualnym, którego fizyka została już gruntownie przetestowana.

Analiza takiej symulacji jest o wiele łatwiejsza, niż w przypadku zastosowania klasycznej symulacji numerycznej. Obserwujemy zachowanie wirtualnego modelu w sposób kompleksowy, co eliminuje ryzyko potencjalnie nieprzewidzianych przez projektanta interakcji pomiędzy poszczególnymi elementami pojazdu (bądź przewidzianymi, ale pominiętymi ze względu na pozornie znikomy wpływ), których działanie może mieć znaczący wpływ na fizyczny obiekt.

## **5. TESTOWANIE ALGORYTMÓW SZTUCZNEJ INTELIGENCJI POJAZDÓW BEZZAŁOGOWYCH**

Zintegrowane silniki symulacyjne nadają się również do testowania algorytmów sztucznej inteligencji, które docelowo mają sterować całkowicie zmechanizowanymi pojazdami, takimi jak Samojezdny Ustawiacz Min SUM KALINA. Możliwość tworzenia różnorodnych map terenu i scenariuszy symulacji umożliwia gruntowne i wielowariantowe przetestowanie algorytmu sztucznej inteligencji, który może zostać później zaimplementowany na komputerze pokładowym pojazdu.

Oczywiście symulacja komputerowa nie rozwiązuje największego problemu pojazdów bezzałogowych, jakim jest komputerowe przetwarzanie obrazu. Mimo to, przy odpowiednich założeniach (uwzględnienie losowej szansy na błędną interpretację obrazu, proporcjonalną do jakości kamery zastosowanej w pojeździe) odwzorowanie zachowań fizycznego obiektu działającego w trybie całkowicie zmechanizowanym staje się możliwe.

Dodatkowo warto wspomnieć o możliwości sprzężenia widoku z kamery zewnętrznej z algorytmem sztucznej inteligencji – oczywiście wizualizacja prezentowana w symulatorze jest uproszczona, ale w efekcie można uwzględnić w testach realny obiekt.

## **6. ZASTOSOWANIE SYMULACJI W DZIAŁANIACH MARKETINGOWYCH**

Stworzony na potrzeby symulacji model wirtualny może z łatwością być wykorzystany na potrzeby prezentacji i marketingu, jeszcze przed stworzeniem fizycznego prototypu.

Dzięki temu możliwe jest ograniczenie kosztów koniecznych na stworzenie materiałów reklamowych – silnik symulacyjny niejako przy okazji symulacji wizualizuje jej efekty, animując wirtualny model, co może zostać przechwycone i wykorzystane w rolach animacji marketingowej.

Na życzenie klienta można w bardzo łatwy sposób dokonać porównania możliwości paru pojazdów. Przykładowo zademonstrowanie, że jeszcze nieistniejący wóz bojowy radzi sobie w określonych warunkach, można przeprowadzić w formie znanej z gier komputerowych. Po przygotowaniu mapy wraz z scenariuszem można umieścić na niej oceniany pojazd, uruchomić symulację, po czym po jej zakończeniu zastąpić go modelem pojazdu konkurencyjnego i przeprowadzić symulację ponownie. Taka forma porównania możliwości (np. czasu przejazdu, odporności na ostrzał, ilości zniszczonych celów, wykonanie założeń scenariusza itd.) jest o wiele bardziej medialna, niż suche obliczenia.

Można pójść jeszcze o krok dalej: fakt, że w roli zintegrowanego silnika symulacyjnego wykorzystywany jest zaawansowany symulator pola walki umożliwia skonfrontowanie ze sobą w wirtualnym świecie różnych pojazdów, organizując tzw. deathmatch, nad którymi kontrolę mogą przejąć zarówno algorytmy sztucznej inteligencji, jak i ludzie.

## 7. TWORZENIE SYMULATORA SZKOLENIOWEGO NA PODSTAWIE SYMULACJI

Wraz z wprowadzeniem pojazdu do eksploatacji, w celu zmniejszenia kosztów i przyspieszenia procesu szkolenia załóg powinno się wprowadzać urządzenia treningowe i symulacyjne dla szkolenia pojedynczych członków załogi, współdziałania kompletnej załogi oraz współdziałania z innymi oddziałami.

Praca włożona w tworzenie symulacji może być wykorzystana do stworzenia symulatorów szkoleniowych w sposób całkowicie naturalny, gwarantując maksymalny realizm. Chodzi tu zarówno o modele wirtualne, jak i mechanizmy obliczeniowe.

Podstawową różnicą pomiędzy symulacją (sterowaną przez komputer), a symulatorem (sterowanym przez człowieka) jest implementacja interfejsu komunikacyjnego. Fakt, że w roli silnika symulacyjnego wykorzystywany jest symulator pola walki, który oferuje domyślnie interfejs umożliwiający komunikację człowiek-komputer przy użyciu prostych urządzeń wejściowych, takich jak klawiatura, mysz czy joystick, sprawia, że dobrze przygotowana symulacja może niemal od razu pełnić rolę prostego symulatora. Dzięki temu możliwe jest, aby pierwsi kursanci odbywali wstępne szkolenia w czasie, gdy dopiero odbywa się produkcja pojazdów.

Co więcej, nowoczesne zaawansowane symulatory pola walki ułatwiają zainstalowanie oprogramowania na dedykowanych trenażerach, takich jak chociażby Kompleksowy Symulator Strzelań dla Załogi KTO Rosomak, wspierając wszystkie stosowane aktualnie systemy wizualizacji procesu szkoleniowego.



**Rys. 6. Kompleksowy Symulator Strzelań dla Załogi KTO Rosomak w wersji plutonowej z zaimplementowanym systemem VBS2**

## 8. PODSUMOWANIE

Wprowadzenie symulacji komputerowych w cykl rozwoju pojazdów o przeznaczeniu militarnym oferuje już dziś liczne profity, porównywalne swoim zakresem do zastąpienia tradycyjnego procesu projektowania przez aktualnie stosowane prototypowanie wirtualne. Najważniejsze z nich to:

- możliwość tworzenia wstępnych, uproszczonych modeli, bez konieczności wykonywania precyzyjnych obliczeń i rysunków technicznych,
- możliwość testowania różnych wariantów wyposażenia, w celu wyboru optymalnej koncepcji,
- możliwość korzystania z bazy istniejących już obiektów, takich jak armaty, koła, lekkie systemy osłon itd., które mogą zostać w łatwy sposób wykorzystane w projekcie,
- możliwość odwzorowania każdej sytuacji, w której fizyczny pojazd może znaleźć się w realnym świecie, a co za tym idzie przeprowadzanie kompleksowych symulacji,
- możliwość tworzenia specjalnych misji i scenariuszy, umożliwiających porównanie wyników osiągniętych przez różne pojazdy,
- możliwość testowania algorytmów sztucznej inteligencji, służących do sterowania całkowicie zmechanizowanymi pojazdami,
- możliwość łatwego przekształcenia symulacji w symulator treningowy sterowany zarówno poprzez proste urządzenia wejściowe (mysz, klawiatura, joystick), jak i oprogramowanie gotowe do zainstalowania na specjalistycznych trenażerach,
- możliwość nagrywania wizualizacji symulacji w celu późniejszego stworzenia materiałów o charakterze marketingowym.

Ze względu na brak programów, których główną rolą byłoby pełnienie funkcji zintegrowanego systemu symulacyjnego, konieczne jest wykorzystywanie w tym celu zaawansowanego symulatora pola walki - VBS2.

Wiąże się to z pewnymi trudnościami – przykładowo wspomniany symulator nie posiada na dzień dzisiejszy narzędzi koniecznych do np. rysowania wykresów; w związku z czym konieczne jest tworzenie własnych podprogramów bądź importowanie wyników symulacji numerycznych w postaci danych tekstowych, które zostaną opracowane w programach zewnętrznych.

Również pewne algorytmy obliczeniowe, zaimplementowane w VBS2 wymagają korekt – ze względu na charakter symulatora niektóre elementy fizyki zostały uproszczone, optymalizując czas symulacji kosztem dokładności. Możliwe jest oczywiście zastąpienie ich poprzez implementację klasycznych algorytmów znanych z metod numerycznych.

Autor, w oparciu o swoje doświadczenia z wcześniejszej pracy w Instytucie Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk, gdzie zajmował się tworzeniem rozproszonych symulatorów sieci bezprzewodowych, a także na podstawie literatury fachowej [2], [3], [4], stwierdza jednoznacznie: pomimo tych niedogodności, liczne profity płynące z wprowadzenia symulacji komputerowych do cyklu rozwoju pojazdów o przeznaczeniu militarnym dowodzą, że potencjalne nakłady pracy poniesione w celu przystosowania symulatora do roli systemu symulacyjnego zwrócą się wielokrotnie.



## 9. LITERATURA

- [1] Projekt rozwojowy pt. "Lekki czołg na bazie wielozadaniowej platformy bojowej" o numerze O R00 0030 05 realizowany w OBRUM sp. z o.o. w latach 2008-2010.
- [2] HARTMANN A.K.: Practical Guide to Computer Simulations, Singapore: World Scientific, 2009.
- [3] ZEIGLER B.: Theory of Modelling and Simulation, Krieger Publishing Co., Inc., Melbourne, FL, 1984.
- [4] CELLIER F., KOFMAN E.: Continuous System Simulation, Springer, Zurich, Switzerland, 2006.
- [5] PATER Z., TOFIL A.: Wirtualne prototypowanie w budowie maszyn, III Konferencja Entuzjastów Informatyki, Chełm, maj 2004.
- [6] Lekki Czołg na bazie wielozadaniowej platformy bojowej: Wybór koncepcji – oszacowanie jakości bojowej lekkiego czołgu w zakresie właściwości bojowych, OBRUM sp. z o.o., WAT, WZM kwiecień 2009.
- [7] Wikipedia: KTO Rosomak, [http://pl.wikipedia.org/wiki/KTO\\_Rosomak](http://pl.wikipedia.org/wiki/KTO_Rosomak), czerwiec 2012.
- [8] Materiały promocyjne VBS2, Bohemia Interactive Simulation, <http://www.vbs.pl>, czerwiec 2012.
- [9] Free 3d models: <http://artist-3d.com/>, czerwiec 2012.
- [10] SPECOPS: <http://www.specops.pl/>, czerwiec 2012.
- [11] TurboSquid: <http://www.turbosquid.com/>, czerwiec 2012.
- [12] Kompleksowy Symulator Strzelań dla Załogi KTO ROSOMAK w Wersji Plutonowej – projekt koncepcyjny, OBRUM sp. z o.o., kwiecień 2012.

## COMPUTER SIMULATIONS IN THE DEVELOPMENT CYCLE OF MILITARY VEHICLES

**Abstract:** The article presents the concept of using advanced battlefield VBS2 simulator as an integrated tool for supporting designing process, analysing and testing vehicles of military nature. There was shown a comparative analysis of currently existing methods. Then, there were described profits arising from the application of computer simulation, which were analyzed from the point of view of labour and time consumption, as well as the quality of the work effects. There was presented a possibility of using virtual elements, already existing, as modules of designed vehicles.

There were also described possibilities of taking computer simulations not only into innovative projects but also while creating algorithms of artificial intelligence for unmanned vehicles.

The last part presents a possibility of using simulation results - obtained indirectly - to create software for training equipment, as well as in materials of marketing nature.

**Key Words:** computer science, computer simulation, prototyping, virtual battlefield.

*W artykule wykorzystano wyniki projektu rozwojowego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Warszawie o numerze O R00 0030 05.*