

por. mgr inż. Paweł PŁATEK  
ppłk dr inż. Mirosław ZAHOR  
Instytut Techniki Uzbrojenia  
Wydział Mechatroniki  
Wojskowa Akademia Techniczna

## **ZASTOSOWANIE METODY FDM TECHNIKI SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA W PROCESIE PROJEKTOWANIA MODUŁOWEGO SYSTEMU BRONI STRZELECKIEJ KALIBRU 5,56 MM (MSBS-5,56)**

**Streszczenie:** Inżynierowie zaangażowani w realizację cyklu projektowo-konstrukcyjnego powstawania produktu, sięgają (i to skutecznie) po najnowsze narzędzia, w tym z obszaru zaawansowanych aplikacji do komputerowego wspomaganie procesu projektowania, wytwarzania i eksploatacji. Umożliwiają one opracowywanie złożonych modeli 3D, generowanie dokumentacji konstrukcyjnej (wykonawczej) projektowanych części, zespołów i finalnych wyrobów oraz weryfikowanie poprawności konstrukcji. Celem niniejszego referatu jest przedstawienie wyników zastosowania techniki RP w procesie konstruowania demonstratorów technologii karabinków standardowych Modułowego Systemu Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56). Są one opracowywane przez Zakład Konstrukcji Specjalnych Instytutu Techniki Uzbrojenia Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej i Fabrykę Broni „Łucznik”-Radom Sp. z o.o. w ramach projektu rozwojowego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę w latach 2007-2010.

## **APPLICATION OF FDM RAPID PROTOTYPING METHOD IN A PROCESS OF DESIGN THE MODULAR SMALL ARMS SYSTEM CAL. 5,56 MM (MSBS-5,56)**

**Abstract:** The advanced applications of computer aided design, manufacturing and exploitation are used by engineers to design new products. These applications allow to design 3D models, build assemblies, generate technical documentation and verify correctness of new constructions. The aim of this paper is to present results of practical application of Rapid Prototyping technique in process of designing the modular small arms system cal. 5,56 mm (MSBS – 5,56 mm). This technique was used to build pre-prototype mockup of MSBS by engineers from the Institute of Armament Technology from Military University of Technology and Arms Factory “Łucznik” Radom. Research and development project is realized with support of Ministry of Science and Higher Education in 2007 – 2010 years.

### **1. Wstęp**

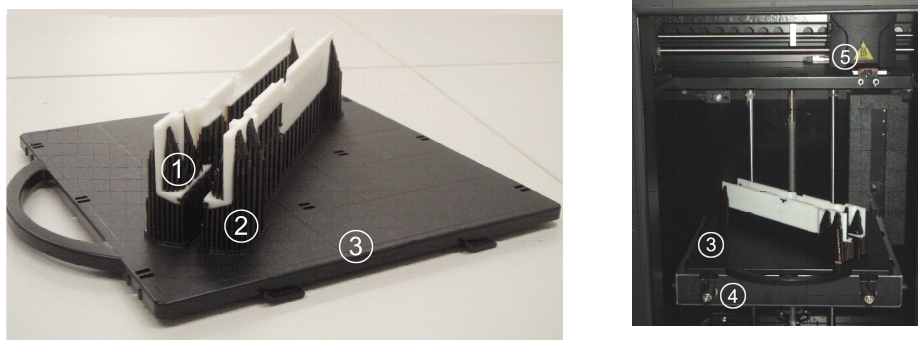
Surowe prawo rynkowe, mówiące o popycie i podaży, zmusza producentów wszystkich niemal branż do ciągłego i nieustannego doskonalenia swoich wyrobów. Proces ten rozpoczyna się już na etapie ich projektowania. Chcąc bowiem sprostać rosnącym wymaganiom rynku, inżynierowie zaangażowani w realizację cyklu projektowo-konstrukcyjnego powstawania produktu, sięgają (i to skutecznie) po najnowsze narzędzia, w

tym z obszaru zaawansowanych aplikacji do komputerowego wspomagania procesu projektowania, wytwarzania i eksploatacji. Umożliwiają one opracowywanie złożonych modeli 3D, generowanie dokumentacji konstrukcyjnej (wykonawczej) projektowanych części, zespołów i finalnych wyrobów oraz weryfikowanie poprawności konstrukcji, poprzez wirtualne analizy i symulacje. W wielu przypadkach okazuje się, iż sam proces komputerowego modelowania nie pozwala na wyeliminowanie wszelkich błędów pojawiających się we wczesnej fazie powstawania wyrobu, zwłaszcza o skomplikowanej konstrukcji. Trudno bowiem ocenić jego ergonomię, funkcjonalność i technologiczność, analizując jedynie obiekt na ekranie monitora. W rozwiązaniu powyższych problemów mogą pomóc techniki szybkiego prototypowania (z ang. Rapid Prototyping, skrót RP), umożliwiające wykonanie (i to stosunkowo szybko) fizycznego modelu przedprototypowego.

Postęp w dziedzinie urządzeń do szybkiego prototypowania (wykonywania modeli rzeczywistych, na bazie komputerowych modeli 3D) spowodował, iż urządzenia te stają się coraz to powszechniejsze w codziennej praktyce inżynierskiej [1, 2]. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych technik RP jest metoda FDM (*Fused Deposition Modeling* – osadzanie stopionego materiału), polegająca na naprzemiennym nakładaniu materiału modelowego i podporowego przez dwudyszową głowicę drukującą zgodnie z kolejnymi przekrojami poprzecznymi komputerowego modelu 3D [3, 5]. Metoda FDM wykorzystuje jako budulec tworzywo sztuczne, jakim jest ABS oraz jego odmiany pochodne, charakteryzujące się podwyższonymi właściwościami wytrzymałościowymi.

Instytut Techniki Uzbrojenia Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej dysponuje urządzeniem do szybkiego prototypowania w postaci drukarki 3D, działającej w technologii FDM. Jest to urządzenie Dimension SST 1200 firmy Stratasys. Zaletą modelu SST jest sposób usuwania materiału podporowego, polegający na rozpuszczaniu go w specjalnym roztworze zasadowym.

Głównym elementem urządzenia jest komora robocza (fot. 1), w której znajduje się dwudyszowa głowica drukująca, oraz stół roboczy o wymiarach 250x250 mm. Do głowicy, jest doprowadzany przewodami materiał modelowy i podporowy (w postaci włókien o średnicy 1,6 mm), który po podgrzaniu dysz do temperatury 300°C zmienia swoją konsystencję ze stałej na półpłynną. Ruch głowicy drukującej odbywa się w płaszczyźnie XY poprzez dwa silniki krokowe. Na stole roboczym są montowane specjalne płyty modelowe, na których powstaje nowobudowany model prototypowy wyrobu. Stół – poprzez obrót śruby kulowej – ma możliwość przemieszczania się wzdłuż osi Z. Zastosowanie dwóch rodzajów materiałów (modelowego i podporowego) oraz możliwość ruchu elementów wykonawczych drukarki w trzech kierunkach X, Y i Z pozwala na wykonywanie detali nawet o bardzo skomplikowanej i złożonej geometrii. Aby budowanie modelu detalu z tworzywa sztucznego przebiegało prawidłowo powietrze w komorze roboczej jest podgrzewane w sposób ciągły do temperatury 75°C [3, 4].



**Fot. 1. Widok wnętrza komory roboczej (z prawej strony) oraz gotowego detalu w wydruku 3D (z lewej strony): 1 – materiał modelowy, 2 – materiał podporowy, 3 – podstawa modelowa, 4 – stół roboczy, 5 – dwudyszowa głowica drukująca**

## **2. Istota procesu druku 3D z wykorzystaniem techniki FDM**

Proces wykonania modelu rzeczywistego detalu z wykorzystaniem techniki FDM rozpoczyna się od wczytania do programu CatalystEX, sterującego pracą drukarki, pliku z geometrią przestrzenną modelu, zapisaną w formacie \*.stl. Następnie parametryzuje się proces budowy przedprototypu, polegający na ustaleniu grubości warstw, na jakie zostanie podzielony model 3D CAD (istnieje możliwość zadeklarowania grubości warstw 0,254 mm i 0,330 mm), ustaleniu sposobu wypełnienia wnętrza modelu (struktura pełna i ażurowa) oraz zdefiniowaniu rodzaju użytej podpory. Dalszy etap procesu, związany z przygotowaniem do uruchomienia fazy budowy modelu, polega na zorientowaniu detalu w przestrzeni roboczej maszyny oraz ustaleniu jego położenia na podstawie modelowej. Od orientacji modelu 3D względem układu współrzędnych maszyny zależy wiele właściwości gotowego wyrobu, m.in. takich jak jego wytrzymałość, dokładność wykonania szczegółów i odchyłki kształtu. Po określeniu wszystkich parametrów następuje faza podziału modelu 3D na warstwy. Program w sposób automatyczny ustala, gdzie należy wstawić podporę, aby można było wykonać model rzeczywisty detalu.

## **3. Zastosowanie metody FDM do opracowania elementów makiet karabinków modułowego systemu broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56)**

Zakład Konstrukcji Specjalnych Instytutu Techniki Uzbrojenia Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej wraz z Fabryką Broni „Łucznik”-Radom Sp. z o.o. od grudnia 2007 roku realizuje projekt badawczy rozwojowy (finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego) pod nazwą „*Opracowanie, wykonanie oraz badania konstrukcyjno-technologiczne karabinków standardowych (podstawowych) modułowego systemu broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm dla Sił Zbrojnych RP*”, którego zakończenie planuje się pod koniec 2010 r. Jego wynikiem końcowym będą dwa demonstratory technologiczne karabinków standardowych (podstawowych) kalibru 5,56 mm (na standardowy w NATO nabój pośredni 5,56x45 mm), przy czym jeden będzie zbudowany w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym (tzw. bull-pup), a drugi – w klasycznym (kolbowym) układzie konstrukcyjnym. W przypadku pozytywnych wyników badań i kontynuowania prac, demonstratory te będą prekursorami przyszłościowego, polskiego, modułowego systemu broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56). W ramach przeprowadzonych prac wykonano dokumentację konstrukcyjną (wykonawczą) obu karabinków, które charakteryzują się nowatorskimi rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Zostały zaprojektowane zgodnie z obowiązującymi wymaganiami tak, aby mogły sprostać wysokim oczekiwaniom żołnierzy, realizujących również zadania podczas wielu misji pokojowych i stabilizacyjnych poza granicami kraju. Chcąc zapewnić jak najlepszą jakość nowoprojektowanej broni, podczas jej konstruowania wykorzystano nowoczesne narzędzia inżynierskie, z techniką szybkiego prototypowania włącznie.

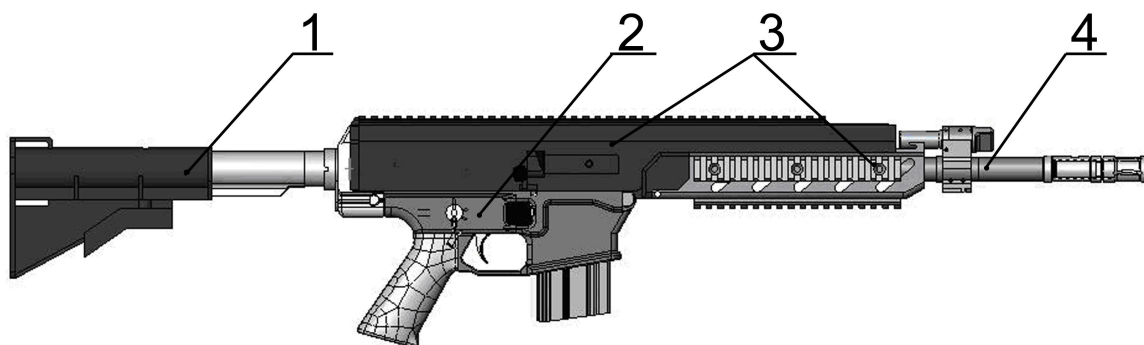
### **3.1 Makieta demonstratora technologii karabinka kalibru 5,56 mm w klasycznym układzie konstrukcyjnym**

Wykonanie makiety wybranych zespołów demonstratora technologii karabinka standardowego kalibru 5,56 mm zbudowanego w klasycznym (kolbowym) układzie konstrukcyjnym (fot.2) miało na celu zoptymalizowanie konstrukcji broni zwłaszcza pod względem ergonomii, a także sprawdzenie wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi częściami i zespołami, aby wyeliminować ewentualne błędy konstrukcyjne we wczesnej fazie

powstawania projektu, a tym samym uniknąć dodatkowych kosztów związanych z „poprawianiem” prototypu.

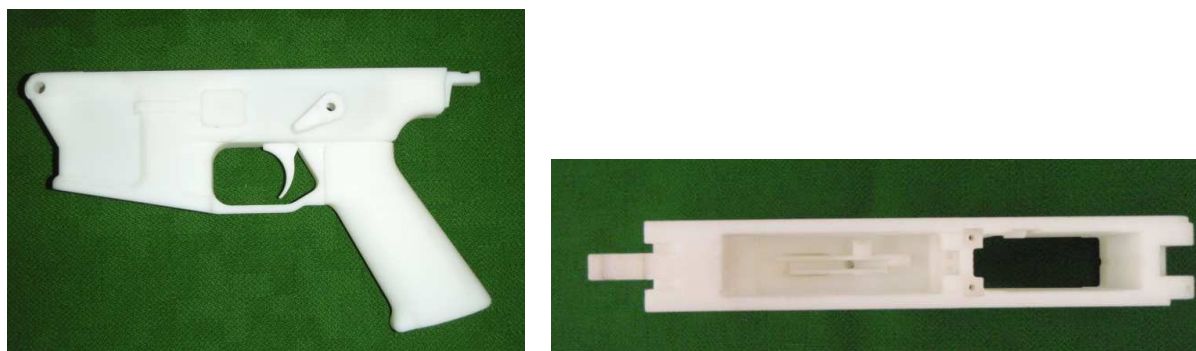
W ramach przeprowadzonych prac z wykorzystaniem RP wykonano modele rzeczywiste następujących zespołów karabinka:

- komory zamkowej z łożem,
- lufy z regulatorem gazowym,
- komory spustowo-uderzeniowej,
- kolby.



**Fot. 2. Widok ogólny zespołów karabinka standardowego kalibru 5,56 mm, zbudowanego w klasycznym układzie konstrukcyjnym, opracowanych w programie Solid Works:  
1 – kolba, 2 – komora spustowo-uderzeniowa, 3 – komora zamkowa z łożem,  
4 – lufa z regulatorem gazowym**

Jednym z istotnych zespołów karabinka, wykonanych w trakcie realizacji makiety, była komora spustowo-uderzeniowa (fot.3) wraz z ruchomymi elementami nastawnymi, tj. przełącznikiem rodzaju ognia, dźwignią zwalniania magazynka i językiem spustowym. Wykonanie fizycznych modeli wyżej wymienionych elementów umożliwiło przeprowadzenie analizy geometrii zespołu pod względem ergonomii oraz sprawdzenie poprawności rozmieszczenia poszczególnych elementów nastawnych, aby zagwarantować użytkownikowi swobodę i wygodę manipulowania nimi w różnych warunkach eksploatacji.

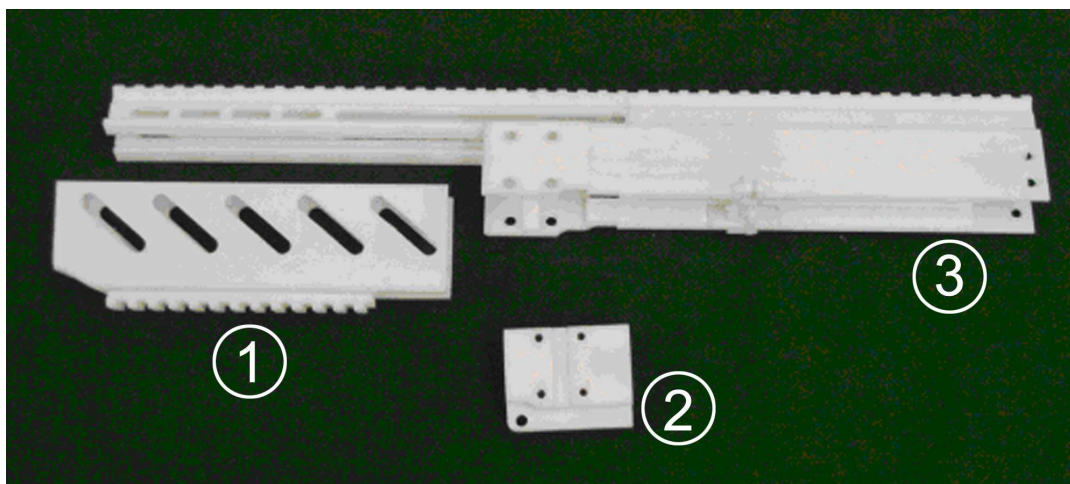


**Fot. 3. Makieta zespołu komory spustowo-uderzeniowej: widok z lewej strony i z góry**

Wykonanie modelu rzeczywistego zespołu komory zamkowej, łoża oraz obsady lufy (fot. 4) miało na celu przeanalizowanie poprawności konstrukcji pod względem zaproponowanego sposobu montażu poszczególnych elementów oraz wykrycie ewentualnych błędów konstrukcyjnych powstałych w trakcie opracowywania modelu 3D. W trakcie dalszych prac wykonano pozostałe elementy makiety takie jak: podzespół lufy (fot. 5) oraz kolby (fot. 6). Newralgicznym elementem zespołu lufy jest trójpołożeniowy regulator gazowy,

umożliwiający sterowanie ilością gazów prochowych przepływających z przewodu lufy do komory gazowej.

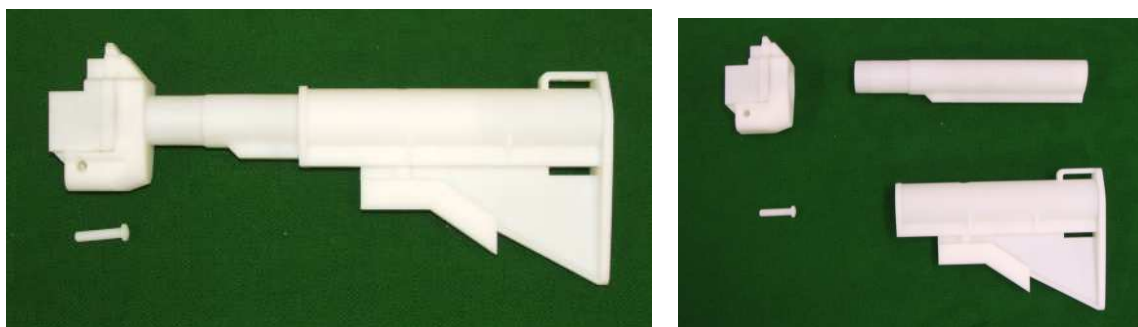
Opracowanie makiety zespołu kolby miało z kolei na celu sprawdzenie, czy zaproponowana możliwość regulacji jej długości pozwala strzelcowi przyjąć prawidłową postawę strzelecką, gwarantującą jak najlepsze „złożenie się” do strzału.



**Fot. 4. Makieta komory zamkowej z obsadą lufy i łóżem:  
1 – łóże, 2 – obsada lufy, 3 – komora zamkowa**



**Fot. 5. Makieta zespołu lufy (z lewej strony)  
wraz z trójpołożeniowym regulatorem gazowym (z prawej strony)**



**Fot. 6. Makieta zespołu kolby złożonej (z lewej strony) i rozłożonej (z prawej strony)**

Po wykonaniu modeli rzeczywistych poszczególnych elementów karabinka, zostały one poddane obróbce szlifowania, umożliwiającej spasowanie wszystkich części podczas montażu. Dodatkowo podzespoły demonstratora pomalowano czarnym lakierem, aby ostateczny wygląd makiety karabinka był zbliżony do rzeczywistej broni, wykonanej „w metalu” (fot. 7).



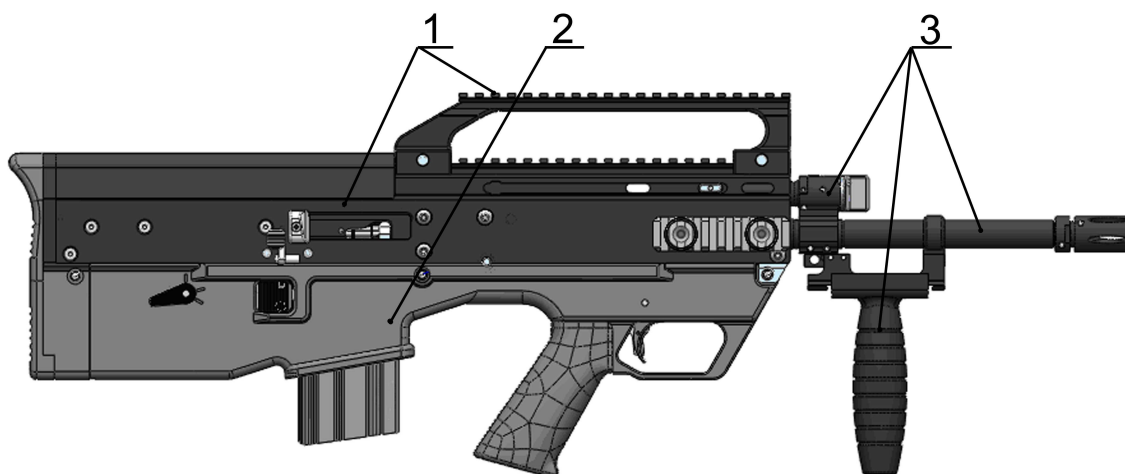
**Fot.7. Makieta nowoprojektowanego karabinka kalibru 5,56 mm zbudowanego w klasycznym układzie konstrukcyjnym: widok z prawej (górną) i lewej strony (dół)**

### **3.2 Makieta demonstratora technologii karabinka kalibru 5,56 mm w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym**

Wykonanie makiety wybranych zespołów demonstratora technologii karabinka standardowego kalibru 5,56 mm zbudowanego w bezkolbowym (tzw. bull-pup) układzie konstrukcyjnym (fot. 8) miało ten sam cel, co makiety karabinka w układzie klasycznym. Również i w tym przypadku opracowano modele fizyczne najważniejszych zespołów karabinka, tj.:

- komory zamkowej z chwytem transportowym,
- komora spustowo-uderzeniowej,
- zespołu lufy z regulatorem gazowym i chwytem przednim.

Makiety karabinka zbudowanego w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym przedstawiono na fot. 9.



**Fot. 8. Widok ogólny zespołów karabinka standardowego kalibru 5,56 mm, zbudowanego w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym, opracowanych w programie Solid Works:  
1 – komora zamkowa z chwytem transportowym, 2 – komora spustowo-uderzeniowa,  
3 – zespół lufy z regulatorem gazowym i chwytem przednim**



**Fot. 9. Makieta nowoprojektowanego karabinka kalibru 5,56 mm zbudowanego w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym: widok z prawej (górną) i lewej strony (dół)**

Analizując zalety metody FDM, które uwidoczniły się podczas opracowania makiet obu karabinków, należy stwierdzić, że metoda ta pozwala „wydrukować” w stosunkowo krótkim czasie (około 7. dni) model broni, który odpowiada konstrukcji rzeczywistej. Ponadto umożliwia wykonywanie pewnych zespołów jako całości w jednym procesie druku 3D (np. elementów komory spustowo-uderzeniowej) oraz łączenie (metodą klejenia) ze sobą elementów o znacznych rozmiarach. Jednak mankamentem tej metody są trudności z wykonaniem elementów o bardzo małych wymiarach (rzędu kilku milimetrów) oraz zwiększające się odchyłki wymiarowe od wartości nominalnych w zależności od sposobu orientacji elementów w przestrzeni roboczej maszyny (dla otworów o średnicy poniżej 2 mm tolerancja kształtu charakteryzowała się znacznymi odchyłkami). Błędy te wynikają z zapisu geometrii modelu 3D do formatu \*.stl.

#### **4. Wnioski**

1. Technika szybkiego prototypowania z wykorzystaniem metody FDM stanowi nowoczesną i skuteczną „pomoc” dla inżyniera-konstruktora podczas projektowania nowych i złożonych obiektów, w tym i broni strzeleckiej. Przeprowadzenie analizy budowy i działania makiety karabinka, zanim zostanie podjęta decyzja o uruchomieniu budowy prototypu broni „w metalu”, może przynieść nie tylko znaczące oszczędności finansowe, ale również pozwala skrócić czas wykonania broni poprzez wyeliminowanie błędów konstrukcyjnych we wczesnej fazie rozwoju projektu.
2. Opracowane w ramach projektu rozwojowego makiety karabinków („wydrukowane” z ABS-u) charakteryzują się dużą trwałością, są odporne na działanie podwyższonej temperatury i wody, można je poddawać dodatkowej obróbce (poprzez wiercenie, toczenie, frezowanie, szlifowanie) oraz powlekać je dodatkowymi warstwami (np. poprzez chromowanie, lakierowanie).
3. Dużą zaletą techniki RP jest możliwość łączenia „wydrukowanych” elementów ze sobą, np. poprzez klejenie ogólnodostępnymi klejami na bazie acetonu.

4. Identyfikacja błędów konstrukcyjnych na podstawie analizy geometrii modeli przedprototypowych karabinków pozwoliła na szybkie wprowadzenie niezbędnych poprawek do dokumentacji konstrukcyjnej.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010  
jako projekt rozwojowy*

## **Literatura**

- [1] E.Chlebus – „Szybkie prototypowanie - innowacyjna technologia w wytwarzaniu nowych wyrobów, część I” – MM Magazyn Przemysłowy nr 5/2002 r.
- [2] K.E. Oczóś, A.Kawalec – „Rozwój systemów szybkiego prototypowania RP i szybkiego wytwarzania oprzyrządowania RT oraz ich integracja z systemami wspomagania komputerowego CAx” – Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, 1999 r.
- [3] K.Oczóś – „Postęp w szybkim kształtowaniu przyrostowym – Rapid Prototyping” – Mechanik nr 4/1999 r.
- [4] [www.stratasys.com](http://www.stratasys.com)
- [5] R.Woźniak – „Modułowy system broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56), jako główne uzbrojenie indywidualne „Polskiego żołnierza przyszłości”” – materiały Ogólnopolskiego Seminarium Naukowo-Technicznego pn. „Wyniki pierwszego etapu projektu rozwojowego nad polskim Modułowym Systemem Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56)” – Warszawa, Instytut Techniki Uzbrojenia WAT, 2008 r. (str. 5-15).
- [6] R.Woźniak, M.Zahor – „Charakterystyka demonstratora technologii karabinka standardowego MSBS-5,56 zbudowanego w kolbowym układzie konstrukcyjnym” – materiały Ogólnopolskiego Seminarium Naukowo-Technicznego pn. „Wyniki pierwszego etapu projektu rozwojowego nad polskim Modułowym Systemem Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56)” – Warszawa, Instytut Techniki Uzbrojenia WAT, 2008 r. (str. 16-20).
- [7] K.Kozieł, R.Woźniak – „Charakterystyka demonstratora technologii karabinka standardowego MSBS-5,56 zbudowanego w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym” – materiały Ogólnopolskiego Seminarium Naukowo-Technicznego pn. „Wyniki pierwszego etapu projektu rozwojowego nad polskim Modułowym Systemem Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56)” – Warszawa, Instytut Techniki Uzbrojenia WAT, 2008 r. (str. 21-23).
- [8] Opracowanie zbiorowe pod kierunkiem R.Woźniaka – „Sprawozdanie merytoryczne z wykonania zadania nr 1 i nr 2 projektu rozwojowego Nr OR00 0010 04 pod tytułem „Opracowanie, wykonanie oraz badania konstrukcyjno-technologiczne karabinków standardowych (podstawowych) modułowego systemu broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm dla Sił Zbrojnych RP” – Instytut Techniki Uzbrojenia WAT, Warszawa, 2009 r. (praca nie publikowana).