

Mjr dr inż. Dariusz RODZIK  
 Mgr inż. Stanisław GRZYWIŃSKI  
 Mgr inż. Jakub MIERNIK  
 Dr inż. Jan SZCZURKO  
 Wojskowa Akademia Techniczna  
 Mgr inż. Roman NIEDZIELSKI  
 Instytut Lotnictwa

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.293

## PROJEKTOWANIE URZĄDZEŃ MECHATRONICZNYCH O ZŁOŻONEJ STRUKTURZE

*Streszczenie: W artykule przedstawiono przykład projektowania urządzenia mechatronicznego o różnorodnej, złożonej konstrukcji, składającej się z sensorów, układów mechanicznych i elektronicznych, a także własnego zasilania.*

## DESIGN OF MECHATRONIC DEVICES WITH COMPLEX STRUCTURES

*Abstract: Design example of mechatronic device with diverse, complex structure, consist of both sensors, mechanical and electronic units, as well as its own power supply are presented in the paper.*

*Słowa kluczowe: urządzenie mechatroniczne, lokator akustyczny*  
*Keywords: mechatronic device, acoustic locator*

### 1. WPROWADZENIE

Ze względu na osobiwe cechy techniczne urządzeń mechatronicznych (np. autonomiczny pomiar, przetwarzanie i transmisja informacji, niewielkie wymiary, bezobsługowa praca itp.) coraz częściej proces kształtowania zespołów elementów w fazie projektowania znajduje zastosowanie w przypadku urządzeń życia codziennego, a także przeznaczenia wojskowego.

Dobrym przykładem jest tu wykorzystanie systemów mechatronicznych w procesie szkolenia artylerzystów w czasie strzelań do imitatorów celów powietrznych (ICP) [1]. W przypadku umieszczenia na ostrzeliwanym ICP niezależnego urządzenia wyposażonego w zestaw sensorów pomiarowych fala wywołana ruchem pocisków lecących w kierunku ICP może być wykorzystywana jako źródło informacji o ich położeniu względem ICP. Informacja ta jest z kolei przesyłana łączem radiowym w czasie rzeczywistym na stanowisko analizy znajdujące się na ziemi. W projekcie niezbędne byłoby zastosowanie urządzeń o małych gabarytach i dopasowanie konstrukcji, tak aby nie zakłócała ono lotu ICP.

Z analizy rozwiązań technicznych tego typu urządzeń wynika, że [2]:

- urządzenie mechatroniczne powinno składać się m.in. z następujących układów: lokatora akustycznego (LA), stacji naziemnej (SN) i radiolinii;
- LA może być instalowany zarówno na ICP, jak i podwieszany za ICP;
- bieżące wyniki strzelań ukazują się w czasie rzeczywistym na ekranie SN;
- elementy urządzenia działają autonomicznie dzięki zasilaniu pokładowemu.

Celem artykułu jest zaprezentowanie wyników projektowania LA, jako przykładu pomiarowego urządzenia mechatronicznego o złożonej strukturze.

## 2. PROJEKTOWANIE URZĄDZEŃ MECHATRONICZNYCH O ZŁOŻONEJ STRUKTURZE

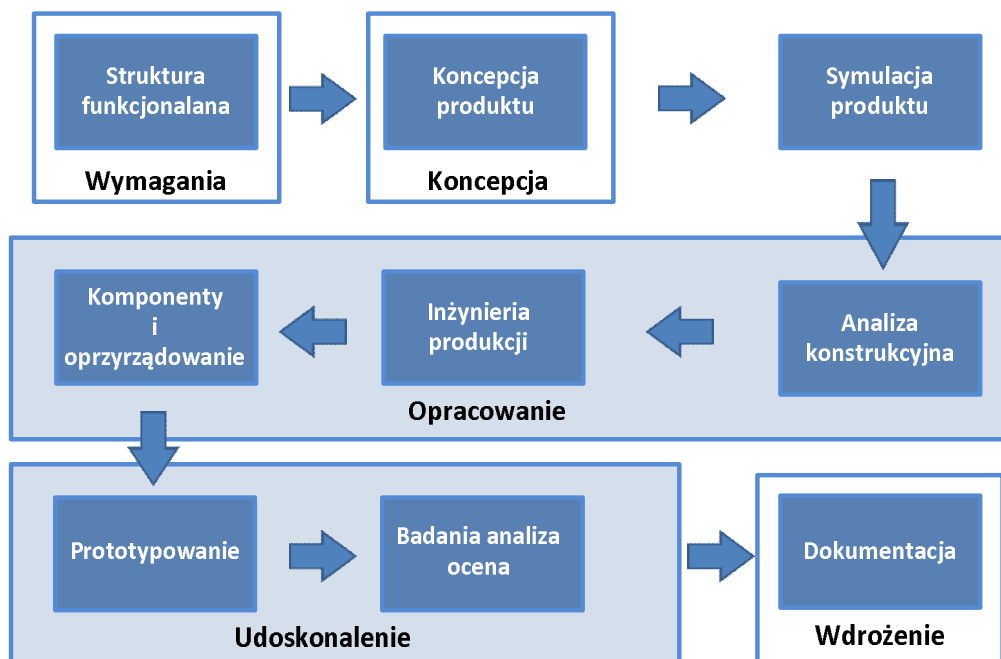
Projektowanie urządzeń mechatronicznych (UM) to proces złożony, w którym przenikają się wzajemnie doświadczenia z różnorodnych obszarów wiedzy inżynierskiej (mechanika konstrukcji, elektronika, sensoryka, przetwarzanie informacji itp.).

Głównym celem projektowania UM jest opracowanie takiego modelu urządzenia, który umożliwiłby jego bezpośrednią realizację zarówno sprzętową, jak i programową.

Gdy analizujemy proces projektowania UM, okazuje się, że przyjęte rozwiązania układowe UM są na ogół kompromisem szeregu parametrów i właściwości traktowanych z różnym priorytetem, gdzie ich celowa zmiana nawet jednego elementu powoduje zazwyczaj zmianę pozostałych charakterystyk, co rodzi pewne problemy i znacznie obniża efektywność procesu projektowania.

Wydaje się, że optymalnym rozwiązaniem podczas projektowania UM byłoby równoczesne kształtowanie wszystkich zadanych właściwości z odpowiednio przyjętymi priorytetami. Dzięki takiemu podejściu można skrócić czas projektowania, zmniejszyć koszty i zapewnić odpowiednią jakość działania UM.

Właściwy przebieg procesu projektowania (rys. 1) można zagwarantować poprzez odpowiednie wykorzystanie inżynierskich systemów komputerowego wspomaganie projektowania, umożliwiających pracę zdalną w sposób rozproszony w każdej fazie życia urządzenia, jak również poprzez właściwe podejście do pracy zespołowej (ang. *team approach*) czy do projektowania współbieżnego (ang. *concurrent engineering*).



Rys. 1. Schemat przebiegu procesu projektowania [3]

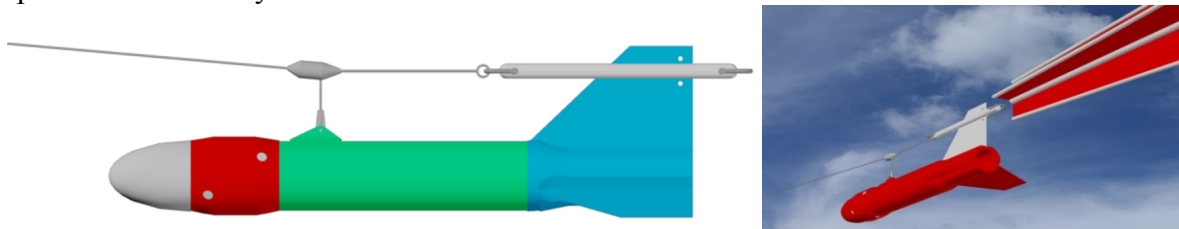
Techniki komputerowe znacznie usprawniają proces formułowania założeń i wymagań, a także opracowania i wykonania projektu UM. We współbieżnym projektowaniu UM wiele

operacji odbywa się prawie jednocześnie dzięki użyciu zaawansowanej techniki komputerowej i nowoczesnego oprogramowania. Istotna jest wtedy praca zespołowa projektantów nad modelem UM, a dzięki nowoczesnej technice komputerowej możliwa jest ocena proponowanych rozwiązań i wnoszenie poprawek w każdym momencie procesu projektowania

### 3. PRZYKŁAD PROJEKTOWY

#### a. Założenia projektowe

W projekcie założono, że LA będzie przeznaczony do detekcji i pomiaru parametrów zaburzeń ciśnieniowych wywołanych na skutek przelotu z prędkością naddźwiękową pocisków artyleryjskich i przystosowany do holowania przez model samolotu na linie zawieszony przed makietą ICP, tzw. „rękawem”. Sposób przyjętej zasady podwieszenia LA zaprezentowano na rys. 2.



Rys. 2. Zobrazowanie zasady podwieszenia LA na linie przed „rękawem” ICP

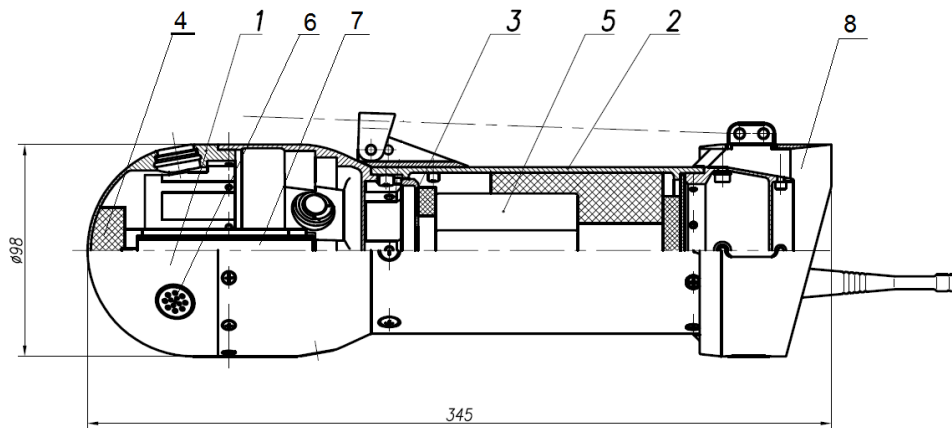
Założono, że LA będzie miał dwa punkty podparcia na linie: pierwszy za głowicą akustyczną LA w okolicy środka ciężkości, drugi na stateczniku tylnej części LA.

#### b. Przyjęte rozwiązania projektowe

Podstawowym zadaniem projektantów było w oparciu o wstępne rysunki wykonawcze elementów LA opracować postaci bryłowe elementów, które można będzie wydrukować na drukarce 3D w celu rozplanowania ułożenia sensorów, przewodów sygnałowych i zasilających oraz ustalenia miejsca zamocowania zespołu zasilania i docelowych rozmiarów elektronicznej płytki układowej.

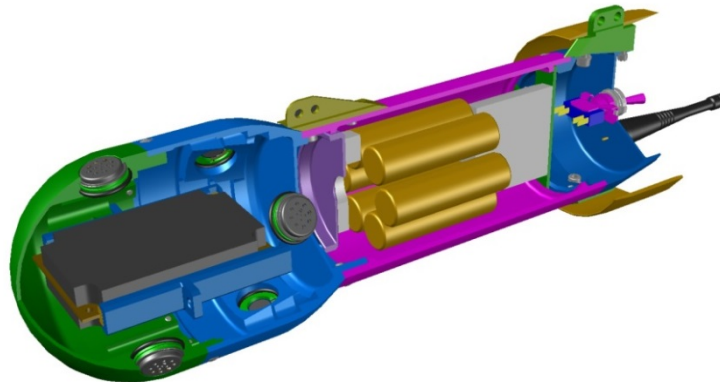
Na podstawie rysunku złożeniowego (patrz rys. 3), wykonanego w środowisku *Autocad 2014*, wygenerowany został rysunek 3D korpusu LA, uzupełniony o przygotowane równoległe modele 3D jego części składowych (tj. sensory, elektronika, zasilanie, przełączniki i antena) w celu analizy przyjętych rozwiązań projektowych. Ostatecznie wybrano rozwiązanie, którego wirtualny model 3D przedstawiono na rys. 4. Zaprojektowany model LA został podzielony na przedziały z elektroniczną płytką układową umieszczoną w przedniej części, zespołu zasilania w środkowej, a układu antenowego i przełączników w tylnej części modelu.

Dla takiego rozwiązania wyliczony został środek ciężkości i środek parcia zaprojektowanej konstrukcji.



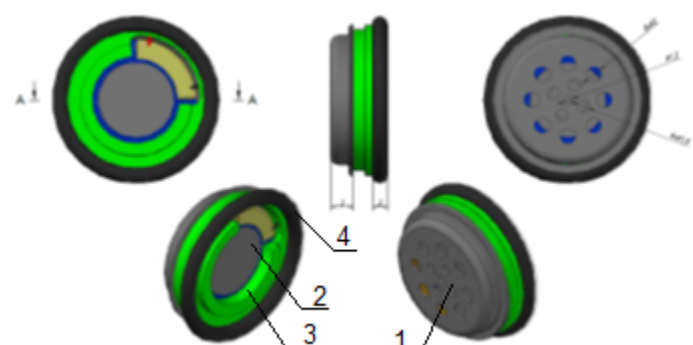
Rys. 3. Wstępny rysunek złożeniowy części składowych LA:

1 – głowica mikrofonów (GM); 2 – zespół kadłuba LA; 3 – korpus GM; 4 – korpus noska GM; 5 – zespół zasilania; 6 – zabudowa wkładki mikrofonowej; 7 – elektroniczna płytki układowa; 8 – zespół ustateczniający z anteną



Rys. 4. Wirtualny model 3D przyjętego do realizacji rozwiązania układowego LA

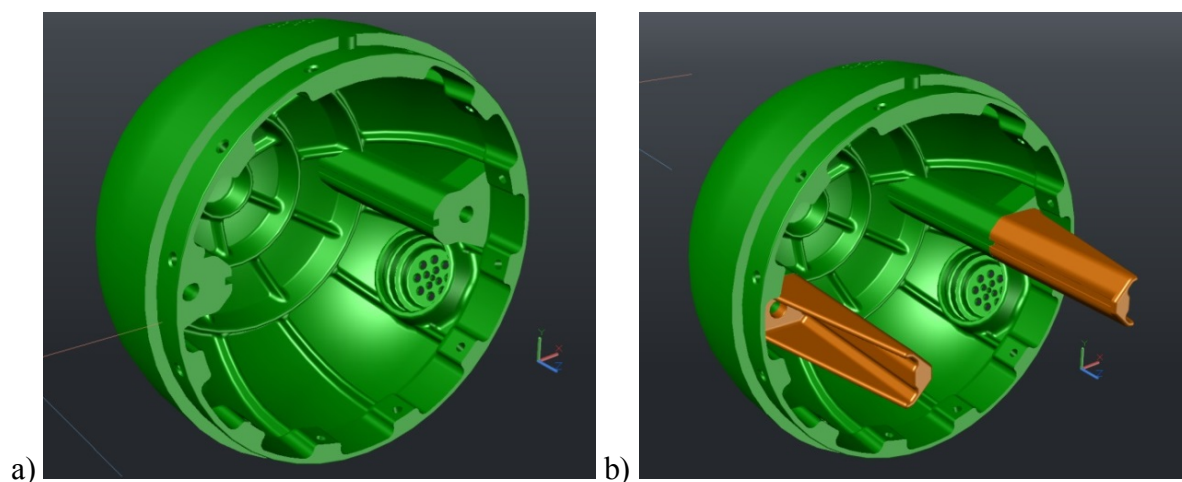
Z analizy rozlokowania elementów układowych LA zaprezentowanych w przekroju na rys. 4 wynika, że istnieje szereg złożonych detali o małych gabarytach, których montaż po wydruku na drukarce 3D może nastęrczać pewne problemy, jak np. montaż zabudowy wkładki mikrofonowej czy zespołu ustateczniającego itp. Przykład zabudowy wkładki mikrofonowej przedstawiono na rys. 5.



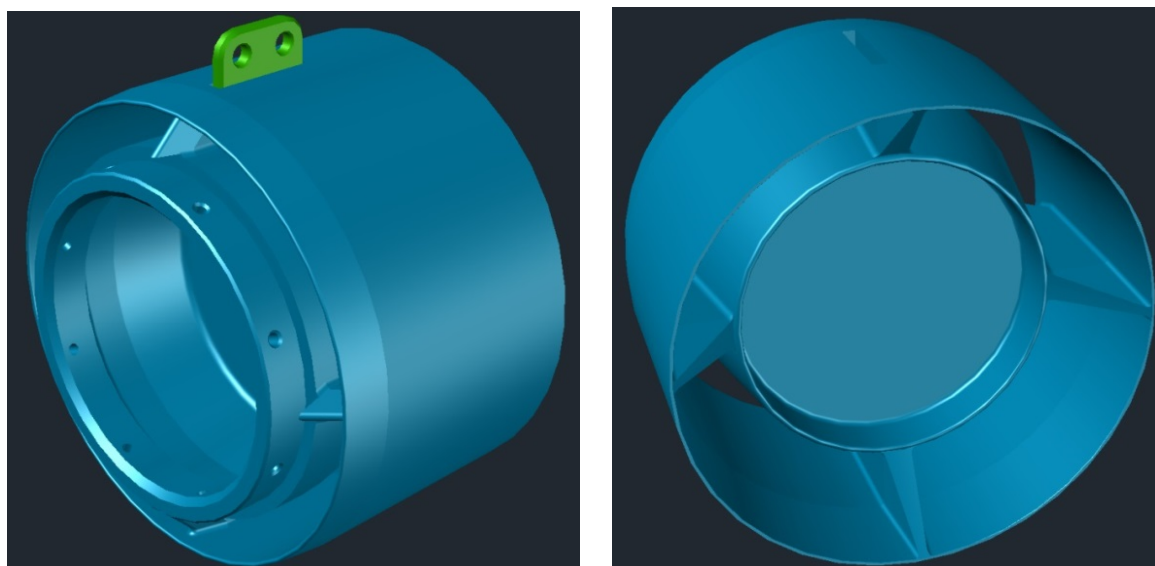
Rys. 5. Wirtualny model 3D zabudowy wkładki mikrofonowej LA:

1 – osłona perforowana, 2 – wkładka mikrofonowa, 3 – pierścień dystansowy, 4 – uszczelka

Dlatego przyjęto, że modele 3D drobnych elementów o złożonych kształtach i małych wymiarach, które po montażu powinny tworzyć większą część LA, do wydruku 3D przygotowane zostaną jako jeden element. Przykłady takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 6 i 7, gdzie w pierwszym przypadku zabudowę wkładek mikrofonowych zespolono z korpusem noska głowicy mikrofonów (rys. 6), a w drugim przypadku elementy zespołu ustateczniającego zespolone zostaną jako jedna całość (rys. 7).



Rys. 6. Wirtualny model 3D zespolonego korpusu noska GM: a) bez przedłużenia, b) z przedłużeniem za pomocą przewodnic



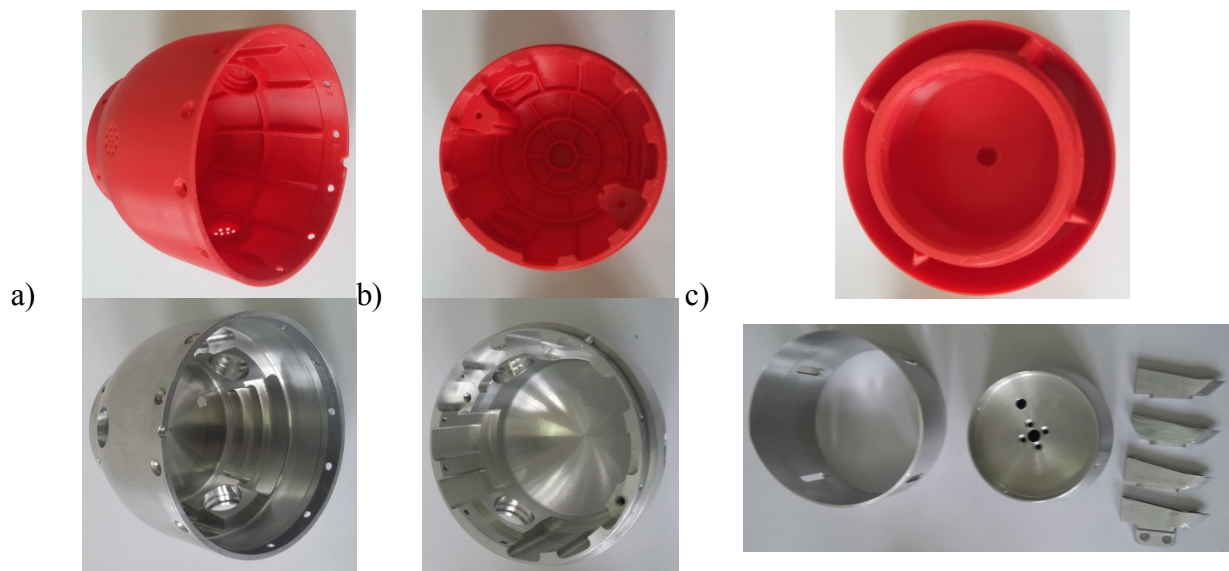
Rys. 7. Wirtualny model 3D zespolonego zespołu ustateczniającego

Wszystkie przygotowane bryły 3D elementów składowych LA zapisane zostały w plikach formatu \*.stl i wydrukowane na drukarce 3D, a następnie zmontowane wraz z elektroniką i oprzyrządowaniem.

Wydruk na drukarce 3D pozwolił na analizę zaprojektowanej konstrukcji i wyeliminowanie potencjalnych błędów projektowych jeszcze przed przekazaniem dokumentacji projektowej do produkcji docelowej oraz znacznie ułatwił ostatnią fazę projektowania, ułatwiając ostateczne rozlokowanie części elektronicznych (tj. diody sygnalizacyjne, przełączniki itp.), jak również przeprowadzenie wstępnych badań układowych urządzenia.

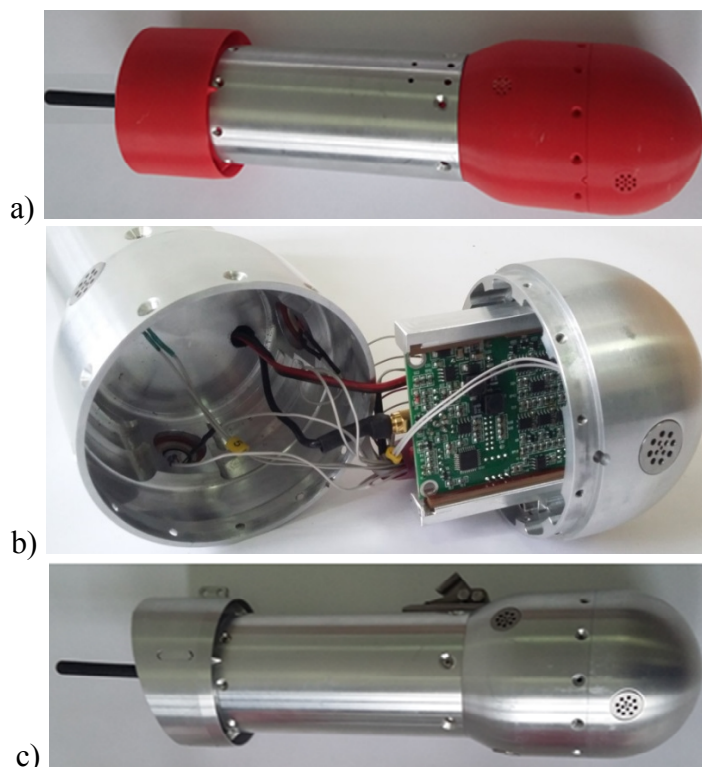
Po badaniach układowych i naniesieniu ostatnich poprawek projektowych, na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej wykonano docelową obudowę i pozostałe detale LA.

Wybrane części składowe LA przedstawiono na rys. 8, a prototyp i gotowe urządzenie mechatroniczne po montażu elektroniki i oprzyrządowania zaprezentowano odpowiednio na rys. 9a, b i c.



Rys. 8. Widok wybranych detali obudowy LA, zarówno wydrukowanych na drukarce 3D (fot. górna), jak i wykonanych na obrabiarce CNC (fot. dolna):

- a) korpus głowicy mikrofonowej, b) korpus noska głowicy mikrofonowej, c) zespół ustateczniający



Rys. 9. Widok: prototypu (a), GM po montażu elektroniki i oprzyrządowania (b) oraz gotowego urządzenia (c)

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono przykład projektowania urządzenia mechatronicznego o różnorodnej, złożonej konstrukcji, składającej się z sensorów, części mechanicznych, układów elektronicznych i własnego zasilania.

Wykorzystując dostępne techniki komputerowe, dzięki równoczesnej pracy projektantów różnych specjalności, w krótkim czasie opracowano w pierwszej kolejności model wirtualny 3D urządzenia, następnie wydrukowano jego istotne elementy na drukarce 3D, złożono, uruchomiono i poddano badaniom. Na podstawie wyników badań modelu zostały wniesione ostateczne poprawki do projektu technicznego i wykonano wersję ostateczną prototypu urządzenia (rys. 9c).

**Praca finansowana przez NCBR ze środków na naukę jako projekt badawczo-rozwojowy realizowany w latach 2012-2015.**

**LITERATURA**

- [1] Rodzik D.: *Wymagania dla pasywnej lokacji akustycznej pocisku w ruchu naddźwiękowym*, rozdział monografii pod red. Adama Kawalca pt. *Urządzenia i systemy radioelektroniczne. Wybrane problemy*, T2, ISBN 978-83-62954-64-3, WAT, Warszawa, 2012, s. 513-525.
- [2] Podciechowski M., Rodzik D., Żygadło S.: *Przegląd metod i rozwiązań technicznych systemów oceny strzelań do celów powietrznych*, materiały konferencyjne, KOSOP 2014, 13-16.05 Ustka, 2014, s. 95-108.
- [3] Michna M.: *Techniki CAx*, notatki do wykładu (plik: *wykład 01 – Techniki CAx – 2.pdf*), Politechnika Gdańska, 2013-14.