

OPRACOWANIE KONSTRUKCJI URZĄDZENIA DO PROGRAMOWANIA I ODTWARZANIA ŚCIEŻKI RUCHU MAŁEJ KAMERY CYFROWEJ

Streszczenie: Niniejszy artykuł przedstawia proces opracowania konstrukcji urządzenia prowadzącego małą kamerę cyfrową przeznaczonego do wykonywania skomplikowanych ujęć efektowych. W pierwszej kolejności dokonano ogólnego przeglądu sprzętu filmowego służącego do kontroli ruchu kamery filmowej. W dalszej części artykułu wybrano rozwiązanie konstrukcyjne spełniające przyjęte wymagania. Wynikiem pracy jest projekt obejmujący model 3D, dokumentację techniczną urządzenia oraz program umożliwiający sterowanie. Zaprojektowany system zapewnia płynność ruchu oraz stabilność w prowadzeniu kamery wyposażonej w duży teleobiektyw, gwarantuje wygodę sterowania poprzez możliwość manipulacji kamerą z poziomu podłączonego do systemu komputera. Opracowany system umożliwia rozbudowę o dodatkowe moduły, które są przydatne w pracy nad efektami specjalnymi w filmach.

DESIGNING A CONTROL SYSTEM FOR PROGRAMMING AND PLAYBACK MOTION OF SMALL CAMERA

Abstract: This article presents the design process of developing a device for digital camera realization of complex effects shots. In the first place was made a general review of film equipment for a film camera movement. Next step was to select design solution meeting the requirements. The result is a project including 3D model, technical documentation, and device control program. System provides smooth movement and stability of the camera equipped with a large telephoto lens, comfortable control by manipulating the camera from a connected computer. System allows to upgrade with additional modules that are useful in work on movie special effects.

Słowa kluczowe: kontrola ruchu, kamera cyfrowa, slider, efekty specjalne, film, timelapse, multiplikacja, hdr, urządzenie, mechatronika

Keywords: motion control, digital camera, slider, special effects, movies, timelapse, multiplication, hdr, device, mechatronics

1. WPROWADZENIE

W każdym oglądanym filmie zauważyć można zastosowanie ruchu kamery. Wzbogaca on ujęcie poprzez nadanie mu rytmu, napięcia emocjonalnego, poprzez skoncentrowanie uwagi widza na ważnym elemencie lub tworzenie efektu trójwymiarowości sceny. W realizacji filmów stosuje się dwa zasadnicze ruchy kamery: panoramę i jazdę. Urządzeniami umożliwiającymi takie ruchy są: statywy, wózki, krany, zdalnie sterowane głowice i prowadnice kamerowe. Wymieniony powyżej sprzęt znajduje zastosowanie w przypadku

dużych kamer filmowych. W dobie mody na filmowanie lustrzankami cyfrowymi istnieje potrzeba, aby sprzęt nie był duży i ciężki oraz by był jak najbardziej uniwersalny (łączył w sobie funkcje różnych urządzeń do kontroli ruchu).

Dzięki urządzeniu możliwe do wykonania są skomplikowane ujęcia wymagające w zwykłych okolicznościach bardzo wprawnego operatora kamery, ponadto urządzenie w położeniu mocno odchylonym od poziomu działa jak kran kamerowy. Urządzenie można wykorzystać do produkcji efektów specjalnych takich jak: timelapse – przedstawienie dłuższej akcji w przyspieszonym tempie, multiplikacja – powielanie elementów/aktorów w scenie, HDR timelapse – zdjęcia o dużej rozpiętości tonalnej. W zadaniu realizowanym przez Centralny Instytut Ochrony Pracy pt. *Multimedialne pomoce dydaktyczne uświadamiające ryzyko związane z zagrożeniami mechanicznymi do wykorzystania w szkołach podstawowych i gimnazjach* omawiany slider kamerowy będzie użyty do realizacji skomplikowanych ujęć efektowych polegających na kilkukrotnym nagraniu ujęcia przy jednakowym, zaprogramowanym ruchu kamery. Celem takiego działania jest późniejsza postprodukcja obrazu w komputerze i dodanie efektów specjalnych, o których wspomniano powyżej.

2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

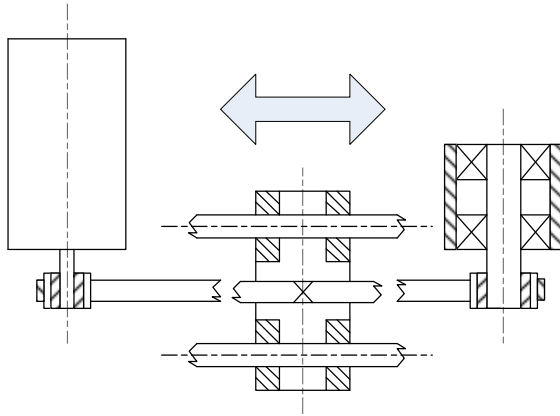
Przedmiotem założeń konstrukcyjnych jest urządzenie do sterowania kamerą cyfrową umożliwiające programowanie prowadzenia kamery w trzech osiach poprzez ruch: posuwisty na prowadnicy, obrotowy w płaszczyźnie poziomej, obrotowy w płaszczyźnie pionowej. Głównym zastosowaniem projektowanego urządzenia jest wykonywanie małą kamerą cyfrową ujęć specjalnych, do których potrzebne jest wierne odwzorowywanie zapamiętanego ruchu. W przypadku gdy chcemy, aby urządzenie było jak najbardziej mobilne, stopień złożoności konstrukcji powinien być mniejszy, a założone możliwości wystarczające do wykonania wymienionych wcześniej efektów specjalnych. Projektowane urządzenie jako jedyne będzie w przeciwieństwie do istniejących rozwiązań na rynku dostosowane do pracy z obiektami o długich ogniskowych (teleobiektywami), które mają duże wymiary.

Wymagania użytkowe urządzenia:

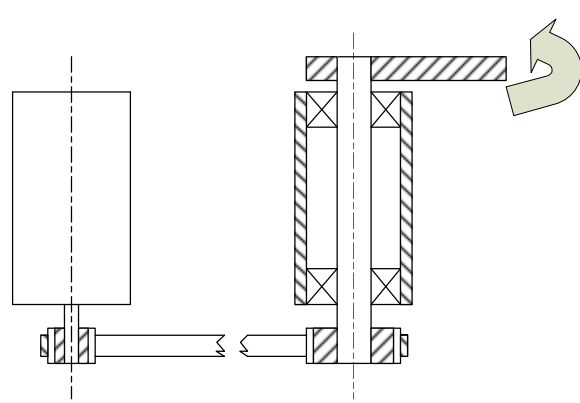
- możliwość posuwu w 1 kierunku na odległość 1 m i obrotów w 2 osiach o kąt 30° w dół, 90° w górę oraz po 90° na boki,
- możliwość nagrywania i odtwarzania ruchu,
- możliwość podglądu obrazu z kamery na monitorze komputera – laptopa,
- praca pod masą do 10 kg (max masa prowadzonej kamery),
- sterowanie za pomocą laptopa,
- regulacja prędkości ruchu w zakresie 0-0,25 m/s,
- praca w poziomie i odchyleniu od poziomu o kąt 60°
- dokładność liniowa – 0,1 mm i kątowa – 0,1°.

3. ROZWIĄZANIA KOSTRUKCYJNE

Funkcją główną urządzenia jest umożliwienie manipulacji zamontowanej na urządzeniu kamery poprzez realizację trzech ruchów: wzdłużnego i obrotowego w dwóch osiach. By zrealizować funkcję główną, zestawiono wszystkie układy ją realizujące wraz z ich funkcjami i wymaganymi parametrami. Następnie opracowano widoczne na Rys. 1 i Rys. 2 schematy poszczególnych układów ruchu urządzenia.



Rys. 1. Schemat ruchu wzdłużnego



Rys. 2. Schemat ruchu obrotowego

Na podstawie analizy wybranych możliwych do zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych i uwzględniając wymagania stawiane urządzeniu, jako rozwiązanie wybrano do zaprojektowania urządzenie złożone w oparciu o:

- układy mechaniki ruchu – przekładnie z paskiem zębatym,
- prowadnicę – ślizgową firmy Igus,
- silniki – skokowe.

Zaproponowane rozwiązanie zagwarantuje płynność ruchu oraz stabilność w prowadzeniu kamery wyposażonej w teleobiektyw (założono model Canon L 300 mm f/4 o wymiarach 90 x 248 mm). Układy napędowe w ruchu wzdłużnym i obrotowym urządzenia oparto na silnikach skokowych, które znajdują zastosowanie w innych podobnych realizacjach [11]. Zostały wybrane ze względu na prostotę sterowania oraz nieskomplikowane zasilanie. Moment trzymający silnika skokowego będzie użyteczny podczas zatrzymania pracy przy odchylonej od poziomu prowadnicy lub głowicy. Zdecydowano, że do ustalania położenia będzie zastosowany absolutny przetwornik położenia kąтового, gdyż zapamiętywanie położenia wyeliminuje stosowanie elektronicznych przełączników położenia krańcowego. Ta zaleta wykorzystana została również w projekcie głowicy stabilizującej położenie kamery w urządzeniach latających [13]. Prowadnica ślizgowa została wybrana, ponieważ zapewnia bezobsługowość, mniejsze drgania oraz jest mało skomplikowana w budowie. Rozwiązanie przeniesienia napędu w ruchu wzdłużnym oparte na przekładni z paskiem zębatym jest proste, zapewnia dużą sprawność oraz ruch bez poślizgu.

Po wybraniu rozwiązań konstrukcyjnych opracowano obliczenia konstrukcyjne dla każdego z napędów, przekładni z paskiem zębatym do ruchu posuwistego na prowadnicy oraz obrotowego na głowicy. Następnie z katalogów dostępnych w handlu dokonano doboru tychże elementów.

4. OBLICZENIA SPRAWDZAJĄCE

W pierwszej kolejności zbadano, czy przesunięcie obrazu spowodowane zakładaną niedokładnością położenia urządzenia 0,1 mm będzie wpływało odczuwalnie na użyteczną jakość filmowanego ujęcia. Obliczono wartość przemieszczenia obrazu na matrycy aparatu-kamery podczas przemieszczenia przedmiotu o podaną wartość i porównano ją z wartościami krążka rozproszenia, czyli maksymalnego rozmiaru obrazu źródła punktowego, który możemy uznać za nadal będący w ognisku. Obliczone dla różnych obiektywów Canon (od ogniskowej 20 mm do 300 mm) przesunięcie obrazu na matrycy (od 0,011mm do 0,028mm) jest porównywalne do wielkości krążka rozproszenia (0,029 do 0,014 dla jakości super [14]), a więc zakładana dokładność pozycjonowania jest wystarczająca.

Niedokładność pozycjonowania kamery na projektowanym urządzeniu wynika z:

- nieliniowości prowadzenia wózka na prowadnicy ślizgowej,
- luzów na łożyskach ślizgowych,
- niedokładności wykonania zębów paska zębatego,
- niedokładności wykonania zębów kół zębatych,
- niedokładności położenia kąтового wału silnika skokowego.

Wartość niedokładności położenia kamery musi być mniejsza niż zakładana dokładność pozycjonowania, by urządzenie spełniało wymagania.

5. ALGORYTMY STERUJĄCE

Metodyka projektowania sterowania była podobna jak w typowych projektach systemów mechatronicznych: np. precyzyjnego telemanipulatora do wykonywania zabiegów chirurgicznych [7], mechatronicznego oka śledzącego najjaśniejszy punkt w obszarze widzenia kamery [8], czterowirnikowego urządzenia latającego mogącego przenosić kamerę [9]. Każdy z tych systemów rozbity był na podsystem sterowania, pomiarowy i wykonawczy. Całym urządzeniem steruje mikrokontroler. Odbiera on sygnały z modułu interfejsu użytkownika dotyczące parametrów zadawanego ruchu i dostarcza sygnały sterujące do układów ruchu wzdluznego i obrotowego. Układy ruchu posiadają moduły pomiaru przemieszczenia oraz pozycji kątowej. Dzięki nim układy zabezpieczające reagują na niebezpieczne położenia układów ruchu (położenie krańcowe, odchylenie o kąt maksymalny), wysyłając sygnały, które zatrzymują ich pracę w takim przypadku. Z układem ruchu wzdluznego związany jest moduł zabezpieczający użytkownika przed przytrzaśnięciem palców w obrębie położenia krańcowego. W interfejsie użytkownika znajduje się wyświetlacz połączony z kontrolowaną przez urządzenie kamerą oraz mikrokontrolerem (informacje zwrotne o położeniu i zadziałaniu modułów zabezpieczających), przyciski służące do zadawania i odtwarzania parametrów ruchu oraz układ programowania i zapamiętywania ruchu.

Na podstawie schematu funkcjonalnego opracowano algorytmy sterowania układu przy pracy ręcznej w czasie rzeczywistym, algorytm pracy automatycznej w trybie odtwarzania, zapisywania ścieżki ruchu oraz trybu timelapse. Algorytmy następnie zaimplementowano w środowisku do graficznego programowania LabView, które daje duże możliwości programowania algorytmów sterowania oraz szybkiej zmiany interfejsu użytkownika, co potwierdza wykorzystanie tego środowiska np. do projektu modelu prostej współrzędnościowej maszyny pomiarowej [12].

6. OPIS KONTRUKCJI

6.1. Zasada działania urządzenia

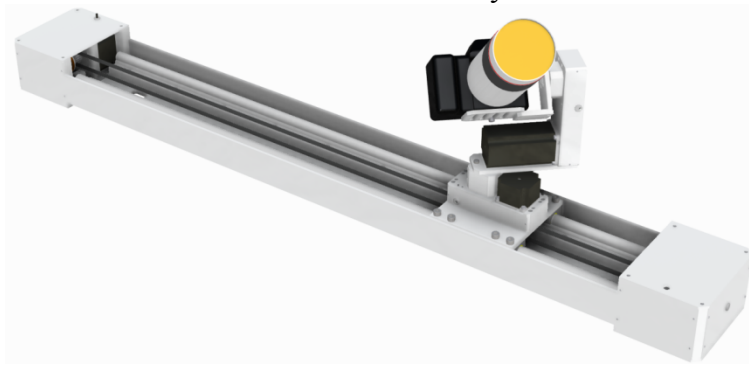
Kamera mocowana jest na płycie mocującej znajdującej się w zespole głowicy. Po włączeniu urządzenia i odblokowaniu mechanicznych zabezpieczeń ruchu system jest gotowy do pracy. Użytkownik steruje ruchem posuwistym wózka na prowadnicy oraz ruchami obrotowymi na głowicy. Ruchem posuwistym steruje moduł silnika w zespole prowadnicy. Przemieszcza on wózek w zakresie 1 m od zderzaka 1 do zderzaka 2. Ruchami obrotowymi sterują dwa kolejne osobne silniki znajdujące się w zespole głowicy. Sterują one obrotami ramion głowicy w zakresie wyznaczonym przez mechaniczne ograniczniki ruchu kątowego. Przed zakończeniem pracy i wyłączeniem urządzenia mechanicznie blokuje się wózek oraz obrotowe ramiona głowicy za pomocą specjalnych wkrętów.

6.2. Budowa urządzenia

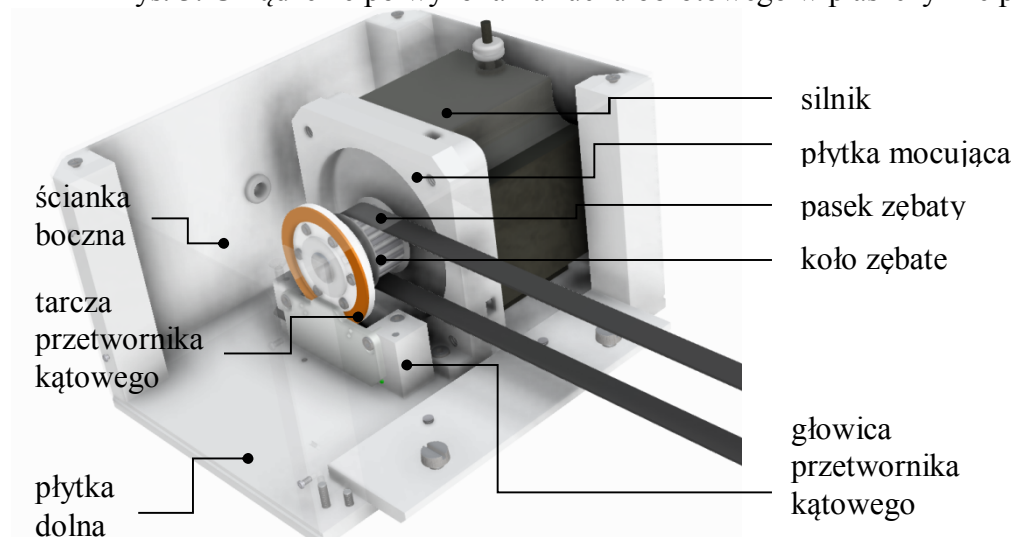
Urządzenie zostało zamodelowane w programie Autodesk Inventor. Przeprowadzono na nim symulacje dynamiczne dla najbardziej niekorzystnych stanów obciążeń i sprawdzono wytrzymałość i sztywność konstrukcji. Metodyka weryfikacji była analogiczna do symulacji przeprowadzanych przy projektowaniu konstrukcji nośnych pojazdów o napędzie elektrycznym. Rys. 3 przedstawia urządzenie w trakcie pracy.

Urządzenie składa się z następujących głównych zespołów i modułów:

- Zespołu prowadnicy:
 - modułu silnika,
 - modułu prowadnicy z wózkiem,
 - modułu łożyska.
- Zespołu głowicy:
 - Modułu ruchu obrotowego w płaszczyźnie poziomej,
 - modułu ruchu obrotowego w płaszczyźnie pionowej,
 - modułu mocowania kamery.



Rys. 3. Urządzenie po wykonaniu ruchu obrotowego w płaszczyźnie pionowej



Rys. 4. Budowa wewnętrzna modułu silnika

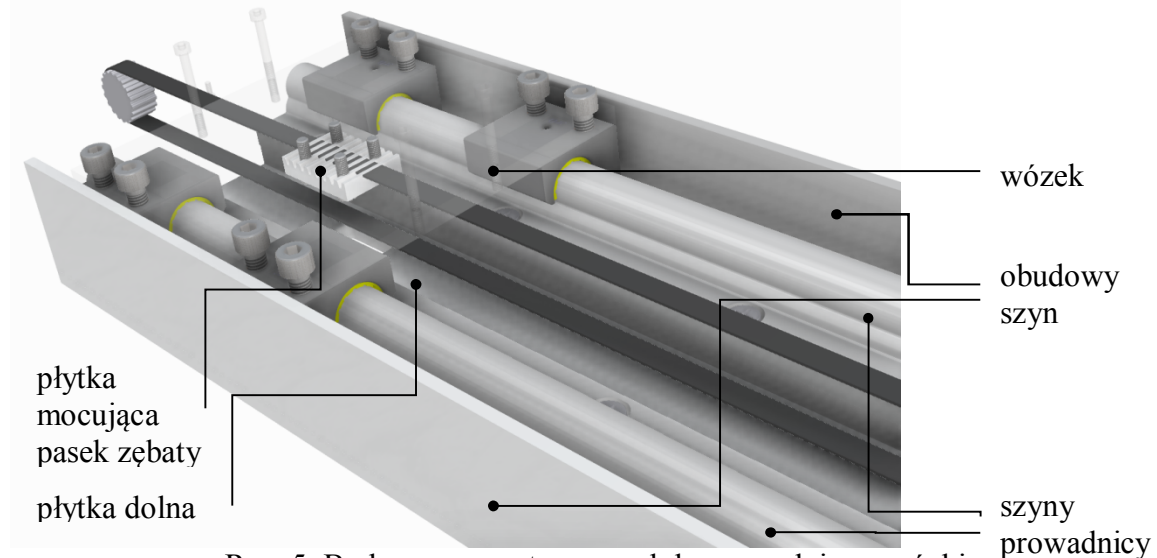
6.3. Rozwiązania specjalne

W urządzeniu zaprojektowano kilka rozwiązań specjalnych, mianowicie:

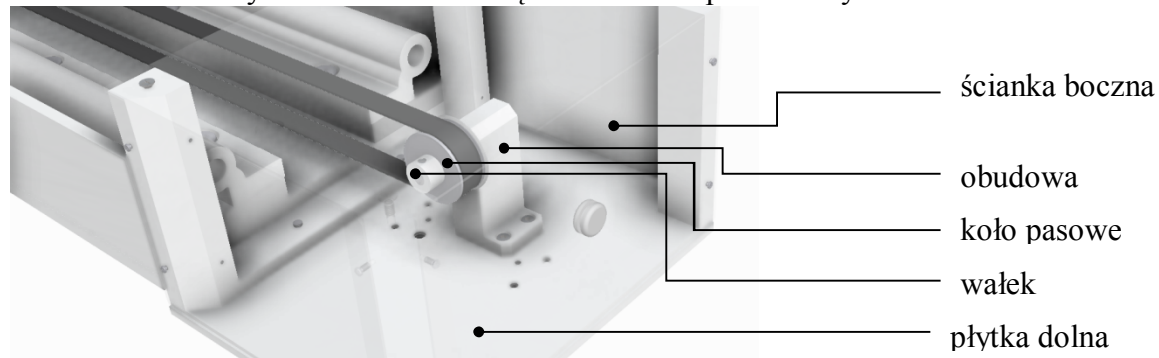
- Blokadki mechaniczne na czas transportu – blokadki wózka na prowadnicy i ramienia na głowicy obrotowej w formie wkrętów blokujących ruch wzdłużny i obrotowy.

- Ograniczniki ruchu kąтового głowicy obrotowej w formie nafrezowanych żłobień, w których porusza się wkręt blokujący.
- Zabezpieczenia przed przytrzaśnięciem palców po odłączeniu zasilania – zderzak gumowy uniemożliwiający całkowity dojazd wózka do krawędzi prowadnicy.
- Ochrony mechaniczne oraz przeciwkurzowe modułów w formie zaprojektowanych obudów prowadnicy, silnika do prowadnicy, łożyska do prowadnicy, kół i pasków zębatych do ruchu obrotowego na głowicy.

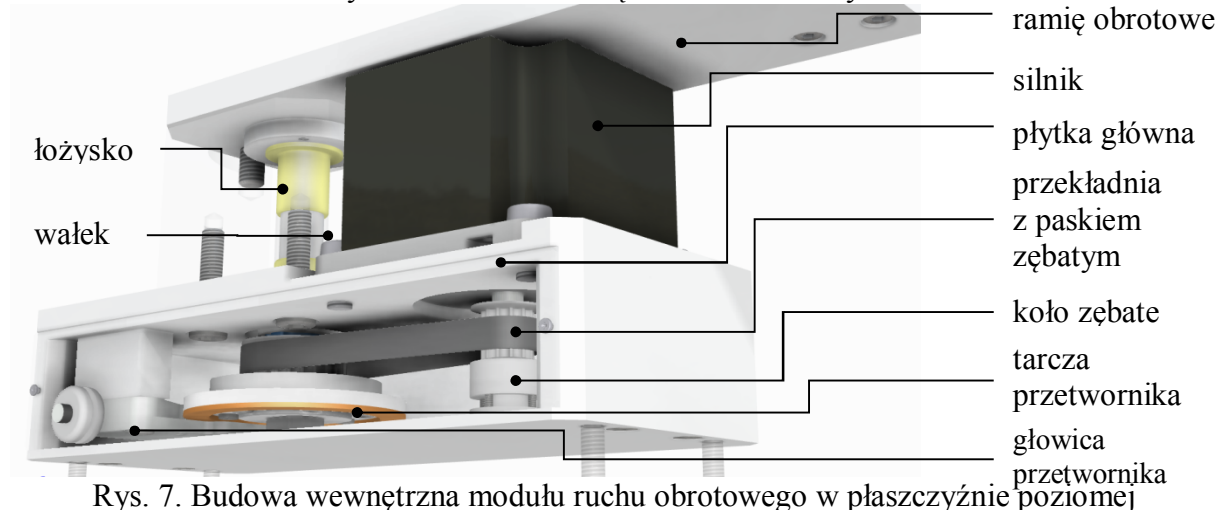
Ponieważ operator urządzenia nie manipuluje bezpośrednio przy kamerze cyfrowej, uznano, że zabezpieczenia przed pochwyceniem lub przytrzaśnięciem palców przez mechanizm są w tym przypadku zbędne i podwyższyłyby koszty urządzenia.



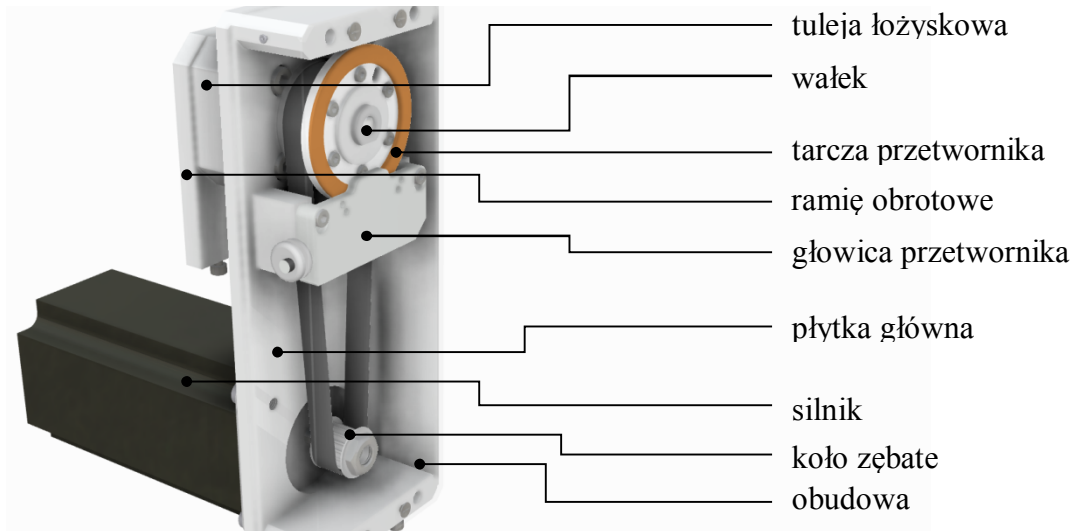
Rys. 5. Budowa wewnętrzna modułu prowadnicy z wózkiem



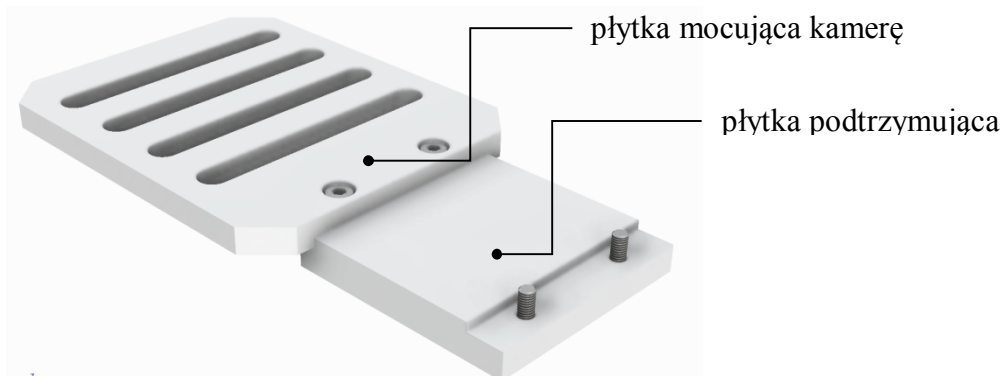
Rys. 6. Budowa wewnętrzna modułu łożyska



Rys. 7. Budowa wewnętrzna modułu ruchu obrotowego w płaszczyźnie poziomej



Rys. 8. Budowa wewnętrzna modułu ruchu obrotowego w płaszczyźnie pionowej



Rys. 9. Budowa wewnętrzna modułu mocowania kamery

7. PODSUMOWANIE

Podczas projektowania dokonano analizy potrzebnej przy specjalistycznych ujęciach dokładności pozycjonowania kamery i stwierdzono, że kamera powinna poruszać się z dokładnością położenia na poziomie co najmniej 0,1 mm i taka wartość niedokładności wystarcza do realizacji filmowych efektów specjalnych. Zaprojektowane urządzenie zapewnia tę wymaganą dokładność.

System umożliwi rozbudowę o dodatkowe moduły, które są przydatne w pracy nad efektami specjalnymi w filmach, takie jak:

- Moduł follow focus – dodatkowy napęd sterujący pierścieniem ostrości w kamerze.
- Moduł programowy pozwalający na śledzenie przez kamerę markerów umieszczonych na filmowanym obiekcie bądź też śledzący twarz aktora, analogicznie jak w przypadku systemów monitoringu obiektów [10].
- Moduł programowy pozwalający wyeksportować parametry ruchu kamery do wybranego programu 3D.

Urządzenie wyróżnia się następującymi cechami:

- Ma parametry dopasowane do teleobiektywów lepsze od produktów na rynku i zapewnia płynniejszy ruch przy ich wykorzystaniu.
- Jest wygodne w obsłudze, bo sterowane z laptopa i nie potrzeba oddzielnych kontrolerów do każdego z silników.
- Jest mobilne, czyli małe i lekkie – do 6 kg – oraz zapewnia prawidłową pracę w warunkach zewnętrznych, gdyż jest zabezpieczone przed wpływem wiatru i pyłu.

- Jest uniwersalne – można je wykorzystać zarówno do makrozdjęć (zdjęcia makiet), gdzie konieczne są małe prędkości i duża precyzja, jak i do większych scen, gdzie niepotrzebna duża precyzja, ale przydatne są większe prędkości.
- Posiada Open Source software – każdy użytkownik może dostosować program do swoich potrzeb.
- Koszt całkowity wszystkich podzespołów urządzenia wynosi w przybliżeniu 4200 zł (stan na miesiąc luty 2015) i jest kilkukrotnie mniejszy niż kupno urządzenia o podobnej funkcjonalności jakiegokolwiek producenta.

Zaprojektowane urządzenie będzie wykorzystane przy realizacji filmów szkoleniowych w zadaniu pt. *Multimedialne pomoce dydaktyczne uświadamiające ryzyko związane z zagrożeniami mechanicznymi do wykorzystania w szkołach podstawowych i gimnazjach.*

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

- [1] *Konstrukcja przyrządów i urządzeń precyzyjnych. Praca zbiorowa*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1996.
- [2] *Poradnik mechanika. Praca zbiorowa*, Wydawnictwo REA S.J., Warszawa, 2008.
- [3] Dudziak M.: *Przekładnie ciągłowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.
- [4] Oleksiuk W., Paprocki K.: *Konstrukcja mechanicznych zespołów sprzętu elektronicznego*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1997.
- [5] Chomczyk W.: *Podstawy konstrukcji maszyn, elementy, podzespoły i zespoły maszyn i urządzeń*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2013.
- [6] Masuda H., Akahoshi A., Nakazawa T., Kataoka K., Kato D., Ueyama T., Ito Y.: *Development of a Compact Motion Control Camera System for HD Digital Broadcasting*, SMPTE Technical Conference and Exhibition, New York, 2005.
- [7] Trochimczuk R.: *Mechatronic modeling of telemanipulator system for minimally invasive surgery*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, nr 2/2013.
- [8] Szybka T., Zagrodny B., Awrejcewicz J.: *Mechatronic eye: modeling and design*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, nr 2/2013.
- [9] Nalepa K., Mulewski S., Miąskowski W., Pietkiewicz P.: *Budowa czterowirnikowego urządzenia latającego*, „Mechanik”, nr 7/2014.
- [10] Supriyanto E., Jiar Y.K., Oon T.Y., Kuan T.M.: *Facial Tracking based Camera Motion Control System*, 9th WSEAS International Conference on TELECOMMUNICATIONS and INFORMATICS, USA, 2010.
- [11] Tetsugu Y.: *The Expanding Applications of Precision Micromotors*, JEE, Nr 179/1991.
- [12] Gruza M., Gąska P., Knapik R.: *Budowa i programowanie modelu współrzędnościowej maszyny pomiarowej z wykorzystaniem klocków LEGO Mindstorms*, CAxInnovation, ITM Poznań, 2013.
- [13] Tiimus K., Tamre M.: *Camera control system for unmanned platforms*, 7th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING, Estonia, 2010.
- [14] Sommer S.: *Vademecum fotografa*, Filmowa Agencja Wydawnicza, Warszawa, 1956.
- [15] Strona internetowa: www.optyczne.pl
- [16] Strona internetowa: www.filmcyfrowy.net