

dr inż. Roman Wantoch-Rekowski¹
dr inż. Jacek Roguski²
mgr inż. Maciej Błogowski²

Przyjęty/Accepted/Принята: 07.05.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 22.02.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 31.03.2016;

Możliwości wykorzystania symulatorów w szkoleniu operatorów bezzałogowych statków powietrznych w zakresie działań ratowniczo-gaśniczych³

Potential Use of Simulators in the Training of Staff who Operate Unmanned Aerial Vehicle used in Firefighting and Rescue Operations

Возможности использования тренажеров в обучении операторов беспилотных летательных аппаратов для выполнения спасательно-гасящих действий

ABSTRAKT

Cel: W artykule przedstawiono możliwości zastosowania symulacji wirtualnej w zakresie szkolenia operatorów bezzałogowych statków powietrznych (BSP).

Wprowadzenie: Określono rolę i przeznaczenie BSP do zadań wykonywanych na potrzeby straży pożarnej oraz przedstawiono zasady użytkowania BSP w oparciu o obowiązujące w Polsce wymagania prawne. Ponadto omówiono zasady szkolenia operatorów BSP wynikające z dotychczasowych doświadczeń w kraju. BSP minimalizują bezpośrednie zagrożenie człowieka oraz pozwalają na szybsze rozpoznanie, stąd rosnące zainteresowanie tego typu konstrukcjami. Na podstawie analizy dostępnej literatury można określić obszary zastosowania BSP:

- rozpoznanie i pomiary skażeń w strefie niebezpiecznej np. zagrożenia czynnikami chemicznymi,
- monitorowanie obszarów leśnych, sytuacji powodziowej oraz prac inspekcyjnych,
- monitorowanie sytuacji w czasie szeroko pojętych wypadków komunikacyjnych,
- obserwacje pożarów budynków i ich analiza,
- tworzenie sieci dozorowych i łączności przy działaniach R-G.

Metodologia: Działania ratowniczo-gaśnicze (R-G) prowadzone przez jednostki Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG) charakteryzują się dużą różnorodnością. Niektóre elementy z tych działań mogą być bardziej efektywne dzięki informacjom przekazywanym przez BSP. Ćwiczenia w tym zakresie mogą być prowadzone są podczas szkoleń i działań pozorowanych z wykorzystaniem rzeczywistego sprzętu określonego rodzaju, w tym wypadku BSP przy ograniczonej liczbie szkolonych operatorów oraz ryzyku uszkodzenia drogiego sprzętu. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykonywanie ćwiczeń w wirtualnej rzeczywistości, co ogranicza do minimum ryzyko zniszczenia lub uszkodzenia BSP oraz umożliwia wielokrotne realizowanie zadań w warunkach pełnej powtarzalności sytuacji, jaką możemy zastać przy realnych działaniach R-G. Prowadzenie tego rodzaju ćwiczeń umożliwia zapewnienie bezpieczeństwa operatorowi oraz ograniczenie kosztów związanych z prowadzonymi ćwiczeniami. Omówiono również projekt przykładowej BSP w środowisku rzeczywistości wirtualnej z opisem ćwiczeń, które mogą być prowadzone przy jej użyciu. Wdrożenie tego typu działań wpłynie na zwiększenie efektywności szkolenia certyfikowanych operatorów BSP i obniży koszty procesu szkoleniowego.

Wnioski: Dostępne na rynku zaawansowane środowiska symulacji wirtualnej takie jak VBS3 umożliwiają budowę różnorodnych stanowisk szkoleniowych. Środowiska symulacji wirtualnej charakteryzują się dużą wiernością symulowanych działań oraz wysoką jakością zobrazowania. Przedstawiony model wirtualny BSP odzwierciedla podstawowe właściwości rzeczywistej platformy BSP i umożliwia interakcję z wirtualnym otoczeniem i innymi obiektami.

Słowa kluczowe: BSP, szkolenie, symulator, symulacja wirtualna

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

¹ Wojskowa Akademia Techniczna / Military University of Technology, Warsaw, Poland; rekowski@wat.edu.pl;

² Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Józefów, Poland;

³ Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

ABSTRACT

Aim: The paper advocates the potential use of virtual simulation during training of unmanned aerial vehicle (UAV) operators.

Introduction: The article identified the role and function of UAV in context of tasks performed by the Fire Service and revealed principles associated with the utilization of UAV in accordance with national legal requirements. A discussion identified current approaches used in the training of UAV operators, which is based on experience gained to date. The use of UAV craft minimizes dangers to human life as well as facilitates faster diagnosis, hence, the growing interest in this type of machine. Based on the analysis of available literature, it is possible to identify the range of applications for unmanned aerial vehicle (UAV):

- conduct of reconnaissance and contamination measurements in the danger zone, e.g. the threat from chemical agents,
- monitoring of woodland areas, flood developments and inspection work,
- monitoring of developments involving major scale road traffic accidents,
- observations and analysis of building fires,
- developing a communication and surveillance network during firefighting operations.

Methodology: Firefighting and rescue operations performed by units of the National Firefighting and Rescue System (KSRG) are characterized by large diversity. However, it is possible to identify component parts, performance of which can be improved on the basis of information provided by the UAV. Practice drills for such elements, conducted during training and simulations, can be performed using specialized equipment, in this case ULBP, with a limited number of operators undergoing training and reduced risk of damage to relatively expensive equipment. An alternative is to perform virtual reality exercises, which would minimize the risk of destruction or damage to UAV equipment and allow for the repetitive accomplishment of tasks in replicated conditions, encountered during actual firefighting and rescue operations. This approach would ensure the safety of operators and minimize training costs. The paper articulates principles associated with the use of UAV for the range of tasks encapsulated by the KSRG framework. The article contains details of a proposed virtual reality environment project, including a description of potential applications to run during simulation exercises, which is intended to increase the effectiveness of training for UAV certified operators and significantly reduce training costs.

Conclusions: Commercially available advanced virtual simulation environments such as VBS3 allow for the construction of a wide range of training scenarios. The virtual simulation environment is characterized by a high fidelity level of simulated activities and high quality of imaging. The proposed UAV simulation model reflects basic properties of an actual UAV platform and allows for interaction with the virtual environment and others.

Keywords: UAV, training, simulator, virtual simulation

Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Статья представляет возможности использования виртуальной симуляции для подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Введение: Определена роль и использование БЛА для заданий, выполняемых для целей пожарной службы, а также представлены правила использования БЛА в соответствии с действующими национальными правовыми требованиями. Рассмотрены принципы подготовки операторов БЛА, связанные с настоящим опытом, полученным в стране. Растущий интерес к такого рода конструкциям связан с тем, что БЛА минимизируют прямую угрозу жизни человека и позволяют проводить более быструю разведку. На основе анализа имеющейся литературы, можно определить области применения БЛА:

- проведение разведки и измерений загрязнения в опасной зоне, например, химическая угроза,
- проведение мониторинга лесных районов, паводковой ситуации и инспекционных работ,
- контроль ситуации во время разнообразных дорожно-транспортных происшествий,
- наблюдения за пожарами зданий и их анализ,
- создание сетей наблюдения и коммуникации во время спасательно-гасящих работ.

Методология: Спасательно-гасящие действия, которые проводятся подразделениями Национальной Спасательно-Гасящей Системы (KSRG) характеризуются большим разнообразием. Тем не менее, можно выделить среди них элементы, которые можно совершенствовать с помощью информации получаемой от БЛА. Использование этих элементов на практике во время обучения и смоделированных действий можно осуществлять с использованием реального оборудования определенного типа, в данном случае БЛА. Связано это, однако, с ограниченным числом обучаемых операторов, а также риском повреждения относительно дорогого оборудования. Альтернативным решением является выполнение упражнений с использованием виртуальной реальности, что сводит к минимуму риск поломки или повреждения БЛА, а также позволяет многократно выполнять задачи в условиях полной повторяемости ситуации, в которой мы можем оказаться во время реальных спасательно-гасящих действий. При этом обеспечена безопасность оператора и ограничены расходы, связанные с проводимыми упражнениями. Представлены правила использования БЛА для задач, выполняемых в рамках KSRG. В целях повышения эффективности проводимого обучения сертифицированных операторов БЛА и значительного снижения стоимости учебного процесса в статье представлен проект виртуального примера БЛА с описанием возможного спектра его использования для практики проведения виртуальной симуляции.

Выводы: Имеющиеся на рынке передовые виртуальные симуляции, такие как VBS3, позволяют создать разнообразные учебные установки. Виртуальные симуляции характеризуются высокой точностью воспроизводимых действий и высоким качеством изображения. Представленная виртуальная модель БЛА отражает основные характеристики реальной платформы БЛА, а также позволяет взаимодействовать с виртуальной средой и другими объектами.

Ключевые слова: БЛА, обучение, стимулятор, виртуальная симуляция

Вид статьи: обзорная статья

1. Wstęp

Jednostki ratownicze Państwowej Straży Pożarnej (PSP) wyposażane są w nieznaczną liczbę bezzałogowych statków powietrznych (BSP lub z ang. UAV) dla potrzeb działań ratowniczo-gaśniczych. Wynika to z wielkości dostępnych środków finansowych, które mogą być przeznaczone na zakup specjalnego wyposażenia, jakim są BSP. Platformy bezzałogowe minimalizują bezpośrednie zagrożenie zdrowia i życia człowieka, dlatego wciąż rośnie zainteresowanie tymi konstrukcjami. Z uwagi na stosunkowo duże nakłady finansowe niezbędne na zakup odpowiedniego sprzętu, komendy próbują również wykorzystać pieniądze pozyskane z funduszy unijnych, czego przykładem były działania Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Białymstoku (budowa Zintegrowanego Systemu Ochrony Ludności i Środowiska w układzie transgranicznym Polski i Litwy). Efektem kilkuletnich działań jest zakup BSP Autocopter G15 produkcji USA [1]. Na podstawie analizy tendencji wykorzystania BSP na świecie i zastosowanych rozwiązań można stwierdzić, że dominują następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- urządzenia pionowego startu i lądowania (śmigłowce, jedno - i wielowirnikowe);
 - płatowce startujące z katapulty oraz pasa startowego, aerostaty [2].
- Obszary zastosowań BSP w działaniach Straży Pożarnej :
- prowadzenie rozpoznania i pomiarów skażeń w strefie niebezpiecznej np. w sytuacji zagrożenia czynnikami chemicznymi,
 - monitorowanie obszarów leśnych, sytuacji powodziowej oraz prac inspekcyjnych,
 - monitorowanie sytuacji w czasie szeroko pojętych wypadków komunikacyjnych,
 - obserwacje pożaru budynków i ich analiza,
 - tworzenie sieci dozorowych i łączności [2].

Zgodnie z obowiązującymi zasadami opisanymi w Rapocie o aktualnym stanie prawnym odnoszącym się do bezzałogowych statków powietrznych Urzędu Lotnictwa Cywilnego, w Polsce, na dzień dzisiejszy, wolno wykonywać loty w zasięgu wzroku operatora. W przypadku lotów innych niż rekreacyjne i sportowe należy posiadać świadectwo kwalifikacji, badania lotniczo-lekarskie odpowiedniej klasy oraz ubezpieczenie. BSP cięższe niż 25 kg muszą uzyskać pozwolenie na wykonywanie lotów w kategorii specjalnej, natomiast loty poza zasięg wzroku operatora możliwe są jedynie w wydzielonych strefach. Pierwsze polskie regulacje prawne dotyczące bezzałogowych statków powietrznych (BSP) zostały zawarte w Ustawie z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz. U. z 2012 r., poz. 933, z późn. zm.), kiedy to nowelizacją z dnia 30 czerwca 2011 roku (weszła w życie 19 września 2011 r.) wprowadzone zostało rozwiązanie, zgodnie z którym wykonywanie lotów bezzałogowych jest dopuszczone, przy założeniu spełnienia określonych wymogów dotyczących wyposażenia statków wykonujących takie loty oraz kwalifikacji personelu lotniczego. Zgodnie z zapisami ustawy szczegółowe warunki i zasady wykonywania lotów bezzałogowych zostały określone w odpowiednich rozporządzeniach, które zostały omówione poniżej [3].

Zasady wykonywania lotów w zasięgu wzroku pilota i bezpiecznej eksploatacji BSP nie cięższych niż 25 kg oraz kwestie związane z ubezpieczeniem zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów Ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz. U. z 2013 r., poz. 440) [3].

Zasady licencjonowania personelu lotniczego (na chwilę obecną dotyczą jedynie operatorów) określono w Rozpo-

ządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 czerwca 2013 r. w sprawie świadectw kwalifikacji (Dz.U. z 2013 r. Nr 664). Dokument określa zasady i warunki uzyskiwania uprawnień do wykonywania lotów w zasięgu (VLOS) oraz poza zasięgiem wzroku (BVLOS)[3].

Dopuszczenie do lotów bezzałogowych statków powietrznych cięższych niż 25 kg określono w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie przepisów technicznych i eksploatacyjnych dotyczących statków powietrznych kategorii specjalnej, nieobjętych nadzorem Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (Dz. U. z 2013 r. Nr 524). Rozporządzenie przewiduje konieczność uzyskania zgody na wykonywanie lotów w kategorii specjalnej dla UAV cięższych niż 25 kg [3].

Zasady wykonywania lotów poza zasięgiem wzroku pilota (operacji, podczas których zdalna załoga wykonuje lot, używając do nawigacji przyrządów pokładowych lub kamery pokładowej) zostaną określone w rozporządzeniu w sprawie szczegółowego sposobu i warunków wykonywania lotów przez bezzałogowe statki powietrzne w polskiej przestrzeni powietrznej oraz procedur współpracy operatorów tych statków z instytucjami zapewniającymi służby ruchu lotniczego. W chwili obecnej trwają prace nad treścią rozporządzenia. W związku z powyższym loty BSP poza zasięgiem wzroku, ze względów bezpieczeństwa, są możliwe jedynie w wydzielonej specjalnie do tego celu przestrzeni powietrznej, co jest zgodne z zapisami art. 126 Ustawy z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz. U. z 2012 r. poz. 933, z późn. zm.) [3]. Modyfikacji i ewentualnej nowelizacji wymaga przykładowo art. 126 Ustawy Prawo lotnicze, będący podstawą dla wykonywania lotów bezzałogowych w polskiej przestrzeni powietrznej. Wymaga on wyposażenia BSP w takie same urządzenia umożliwiające lot, nawigację i łączność jak załogowy statek powietrzny, nie mówiąc jednak nic o urządzeniach i systemach odpowiedzialnych za separację BSP od innych użytkowników przestrzeni powietrznej. Dopiero określenie wymogów odnośnie użycia takich systemów będzie podstawą do zapewnienia odpowiedniego stopnia bezpieczeństwa użytkowania BSP i zintegrowania ich z załogowym ruchem lotniczym [3].

Zasadność używania BSP przez straż pożarną, wydaje się być poza wszelką dyskusją. Problemy pojawiają się, gdy dochodzi do ustalenia rodzaju statków, jakie miałyby być najlepsze dla celów akcji straży pożarnej. Z analizy literatury wynika, że optymalne byłyby pionowzloty, na przykład dlatego, że są w stanie wykonać zawis. Jednakże to co, w powszechnym mniemaniu, wygląda na zaletę (jak właśnie zdolność do zawisu), w przypadku strażackiego BSP może stanowić wadę. Podobnie jest z konstrukcjami startującymi z płyty startowej, jak również wystrzelowanymi w powietrze za pomocą katapulty. Każde z zastosowanych rozwiązań ma swoje zalety, jak również wady [4-5].

W każdym z sugerowanych obszarów zastosowań można wydzielić elementy powtarzalne, których doskonalenie skutkuje większą efektywnością działań. Ćwiczenie elementów powtarzalnych prowadzonych podczas szkoleń i działań pozorowanych może być prowadzone z wykorzystaniem rzeczywistego sprzętu określonego rodzaju, w tym wypadku BSP przy ograniczonej ilości szkolonych operatorów oraz ryzyku uszkodzenia relatywnie drogiego sprzętu.

Nowoczesnym rozwiązaniem jest wykonywanie ćwiczeń z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości, co ogranicza do minimum ryzyko zniszczenia lub uszkodzenia BSP oraz umożliwia wielokrotne realizowanie zadań w warunkach pełnej powtarzalności sytuacji, jaką możemy zastać przy realnych działaniach R-G przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa operatorowi oraz ograniczeniu kosztów związanych z prowadzonymi ćwiczeniami. Istnie-

jące rozwiązania symulacyjne opracowane są w większości przypadków przez ich producentów. Przewidują one realizację podstawowych zadań związanych z prawidłową eksploatacją sprzętu, nie uwzględniając jednak specyfiki wykorzystania przez określoną grupę użytkowników. Taka sytuacja wymaga opracowania dedykowanego oprogramowania rozszerzające ogólne właściwości symulacyjne na specyficzne zadania.

2. Zakres możliwych szkoleń operatorów BSP

Zgodnie z obowiązującymi wymaganiami prawnymi szkolenia operatorów bezzałogowych statków powietrznych prowadzone są przez jednostki posiadające wymagane uprawnienia nadane przez Urząd Lotnictwa Cywilnego. Jedno z nich odbyło się w dniach 15-17 grudnia 2014 r. w Komendzie Głównej PSP (pierwsze w historii Państwowej Straży Pożarnej). Jego celem było przygotowanie uczestników do egzaminu na świadectwo kwalifikacji operatora bezzałogowego statku powietrznego z uprawnieniami do przeprowadzania operacji w zasięgu wzroku (VLOS). Szkolenie obejmowało między innymi następujące treści:

- podstawy prawa lotniczego, w tym klasyfikację i zarządzanie przestrzenią powietrzną,
- czynnik ludzki w lotnictwie,
- zasady wykonywania lotów VLOS, w tym odpowiedzialność operatora UAV, zdobywanie informacji o wykorzystaniu, zamawianiu i uaktywnianiu stref przestrzeni powietrznej,
- bezpieczeństwo wykonywania lotów w tym rodzaje zagrożeń i procedury awaryjne,
- obsługę, budowę i zasady działania BSP.

W szkoleniu udział wzięło 22 funkcjonariuszy PSP reprezentujących 10 jednostek organizacyjnych PSP (KG PSP, Lubelską, Małopolską, Mazowiecką, Podkarpacką, Podlaską, Pomorską i Warmińsko-Mazurską KW PSP, SGSP i CS PSP w Częstochowie) oraz funkcjonariusza BOR.

Zajęcia oraz egzamin prowadzili instruktorzy firmy FLY-TRONIC posiadający licencje egzaminatora UAVO Urzędu Lotnictwa Cywilnego [6].

Szkolenie z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej, przy istniejącym stanie prawnym, pozwala również na działanie w obszarze poza zasięgiem wzroku (BVLOS) z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych cięższych niż 25 kg. Pozwala to na

ominięcie ograniczeń formalno-prawnych przy zachowaniu możliwości trenowania wszystkich obowiązujących procedur współpracy.

3. Podstawowe właściwości symulatorów wirtualnych i ich zastosowanie do prowadzenia szkoleń z BSP

Jednym z kierunków rozwoju systemów szkoleń specjalistycznych jest stosowanie symulatorów wirtualnych i trenerów [7], [8], [10], [11]. Pojawienie się na rynku specjalizowanych symulatorów wirtualnych umożliwiających odwzorowanie obiektów z dużą dokładnością znacznie rozwinęło możliwości ich zastosowania do prowadzenia szkoleń specjalistycznych w tym do szkolenia w zakresie bezzałogowych środków powietrznych. Zastosowanie symulatorów wirtualnych do szkolenia ma na celu zastąpienie świata rzeczywistego światem wirtualnym. Takie rozwiązanie dostarcza nowych możliwości w zakresie szkolenia, pozwalając na prowadzenie ćwiczeń w świecie wirtualnym, ale z wykorzystaniem obowiązujących procedur oraz rzeczywistego lub zbliżonego do rzeczywistego wyposażenia [9], [12-15].

Możliwości zastosowania symulatorów wirtualnych do prowadzenia szkoleń w zakresie bezzałogowych środków powietrznych wynikają z następujących właściwości tych symulatorów:

- symulacja przebiegu scenariusza;
- możliwość budowy i modelowania własnych obiektów modeli BSP, nawet takich które nie istnieją w rzeczywistości;
- możliwość budowy własnych map z odwzorowaniem rzeczywistych obszarów nawet do 2000 km x 2000 km;
- możliwość budowy własnych scenariuszy;
- możliwość programowania warunków atmosferycznych oraz zachowania symulowanego środowiska naturalnego;
- możliwość ingerencji instruktora w trakcie symulacji co zwiększa realizm prowadzonego ćwiczenia;
- możliwość programowania zachowania obiektów;
- możliwość rejestrowania i odtwarzania przebiegu symulacji (ang. AAR - After Action Review).
- Stosując symulatory wirtualne do wspomaganie szkolenia, można osiągnąć następujące korzyści:
- zmniejszenie kosztów szkoleń;
- ćwiczenie sytuacji, które są bardzo trudne do odtworzenia w rzeczywistości;
- ćwiczenie sytuacji, które nie są możliwe do odtworzenia w rzeczywistości ze względu na duże koszty lub duże zagrożenia dla ćwiczących;
- możliwość ćwiczenia efektywności procedur oraz weryfikacja nowych procedur;
- możliwość ćwiczenia z użyciem urządzeń, których jeszcze nie wyprodukowano.

Zaawansowane środowiska symulacji wirtualnej takie jak VBS3 umożliwiają budowę szerokiego zakresu stanowisk szkoleniowych [16], [17-20]. Środowiska symulacji wirtualnej charakteryzują się dużą wiernością symulowanych działań oraz wysoką jakością zobrazowania. Zasadniczym komponentem środowisk symulacji wirtualnej jest silnik symulacyjny i graficzny, których podstawowym zadaniem jest zarządzanie:

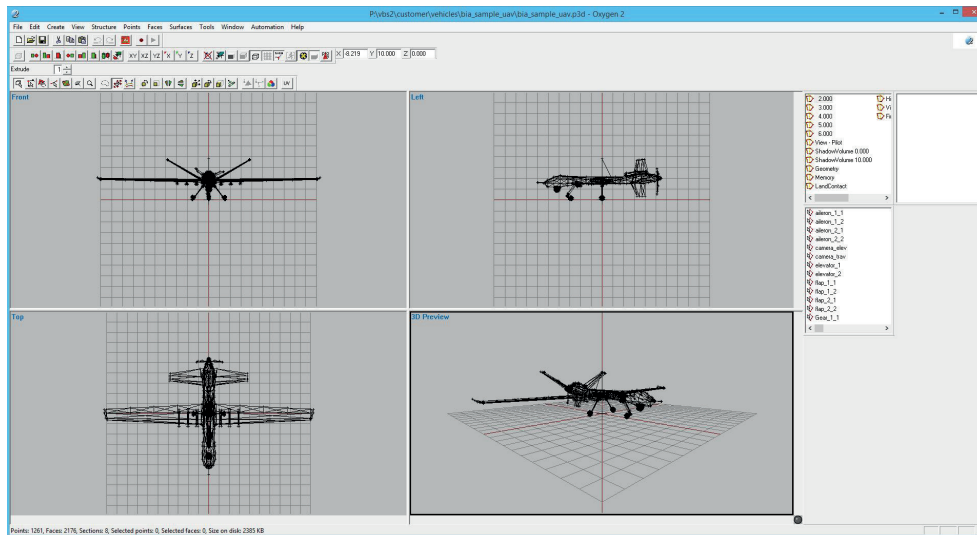
- symulacją;
- przetwarzaniem zdarzeń związanych z fizyką podstawowych zjawisk (m.in.: kolizje, interakcje, uderzenia, zderzenia obiektów, balistyka, zjawiska meteorologiczne, efekty działań obiektów);
- procesem generowania obrazu (m.in.: zobrazowanie terenu, obiektów, animacje, efekty);
- zachowaniem obiektów (AI) pojedynczych obiektów, np. żołnierzy, ludności cywilnej, zwierząt.

4. Projekt przykładowego modelu wirtualnego bezzałogowego statku powietrznego

Budowa modelu wirtualnego przykładowego bezzałogowego środka powietrznego ma na celu odwzorowanie jego zachowania i realizowanych funkcji. Zaprezentowany model wirtualny odwzorowuje następujące funkcje BSP:

- dynamika i parametry lotu,
- start i lądowanie,
- sterowanie parametrami lotu,
- widok z kamery BSP.
- sterowanie parametrami kamery (zoom, widok dzienny, termalny i noktowizja).

Podstawowym elementem modelu BSP jest jego model 3D oraz odwzorowanie jego wyglądu. Siatkę 3D wykonuje się z wykorzystaniem specjalizowanych narzędzi. Rycina 1 przedstawia okno główne aplikacji do projektowania siatek 3D obiektów. Na rycinie widać projekt przykładowego BPL.



Ryc. 1. Okno aplikacji do projektowania siatek 3D obiektów do symulatora wirtualnego [15]
 Fig. 1. Application window for the design of 3D network of items for a virtual simulator [15]

Rycina 2 przedstawia szczegóły modelu, w którym odwzorowano:

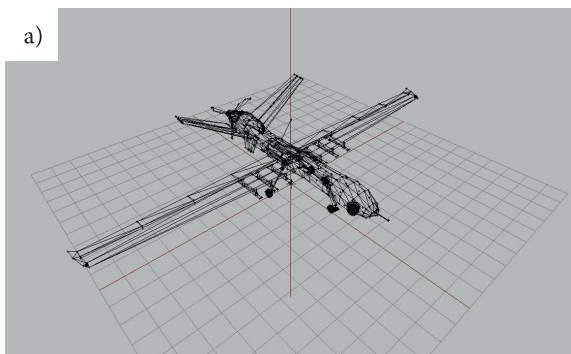
- fizyczne rozmiary poszczególnych elementów konstrukcyjnych,
- napęd,
- układ jezdny,
- zamieszczenie głowicy obserwacyjnej,
- elementy układu sterowania.

Z punktu widzenia szkoleń jednym z najważniejszych elementów bezzałogowca jest głowica obserwacyjna, która w modelu 3D jest odwzorowana z dużą dokładnością i jed-

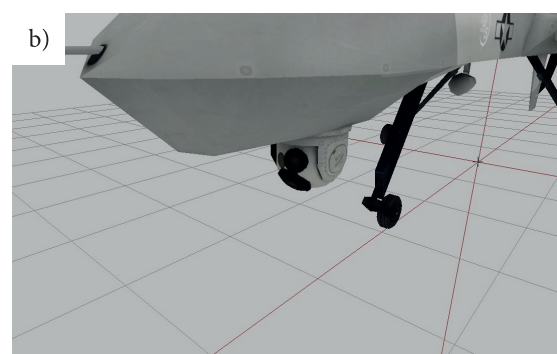
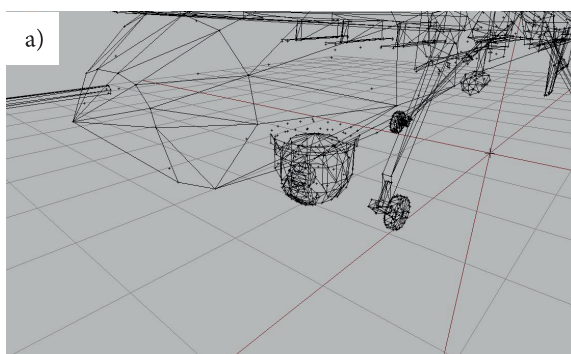
nocześnie oprogramowana tak, aby umożliwić generowanie odpowiedniego widoku i interakcji z ćwiczącym. Rycina 3 przedstawia przykładowe zobrazowanie głowicy.

Model siatki 3D jest tylko jednym z aspektów, które należy zamodelować. Oprócz podstawowej siatki 3D należy zbudować osobne modele odwzorujące zachowanie obiektu w symulacji wirtualnej:

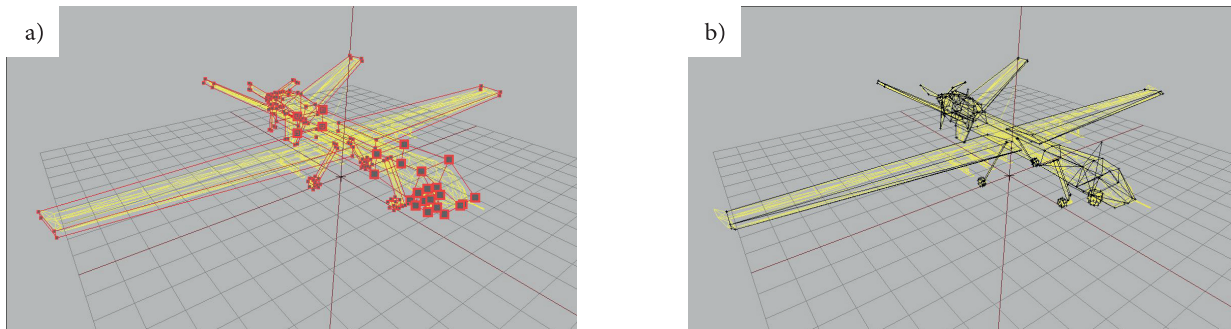
- model kolizyjny i rozmieszczenia mas (Geometry),
- model generowania cienia (ShadowVolume),
- model do zniszczeń (Fire Geometry)
- szczególne punkty ulegające zniszczeniu (Hit points),



Ryc. 2. Model 3D przykładowego BSP [15]
 Fig. 2. 3D model of an exemplary UAV [15]



Ryc. 3. Model 3D głowicy BSP [15]
 Fig. 3. 3D model of a UAV head [15]



Ryc. 4. Model Geometri i Fire Geometry przykładowego BSP [15]
 Fig. 4. Model Geometry and Fire Geometry of an exemplary UAV [15]

- model widoczności dla AI (View Geometry)
- punkty kontaktu z podłożem (Land Contacts),
- szczególnie punkty (Memory points)

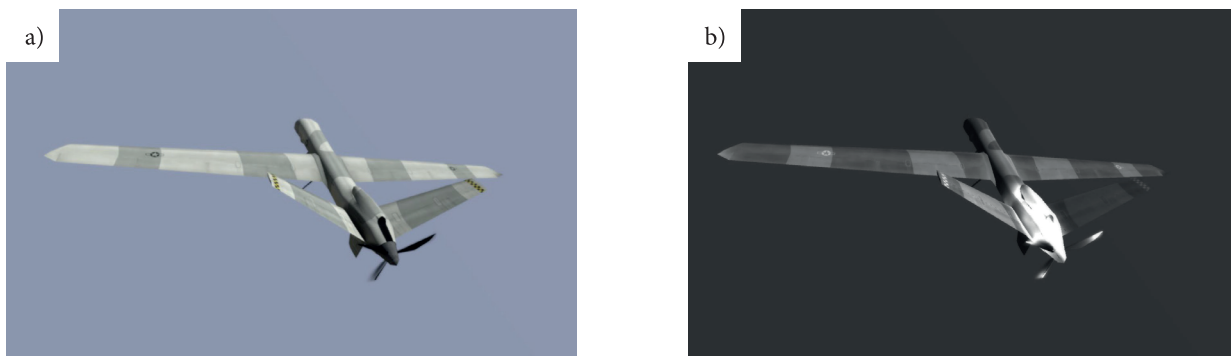
Rycina 4 przedstawia przykładowe siatki Geometri i Fire Geometry.

W modelu odwzorowywane jest nagrzewanie się elementów napędowych. Efekt nagrzewania elementów obiektu uzyskuje się poprzez definicję tektur odwzorowujących ich tempo i natężenie nagrzewania w zależności od intensywności pracy (ryc. 5).

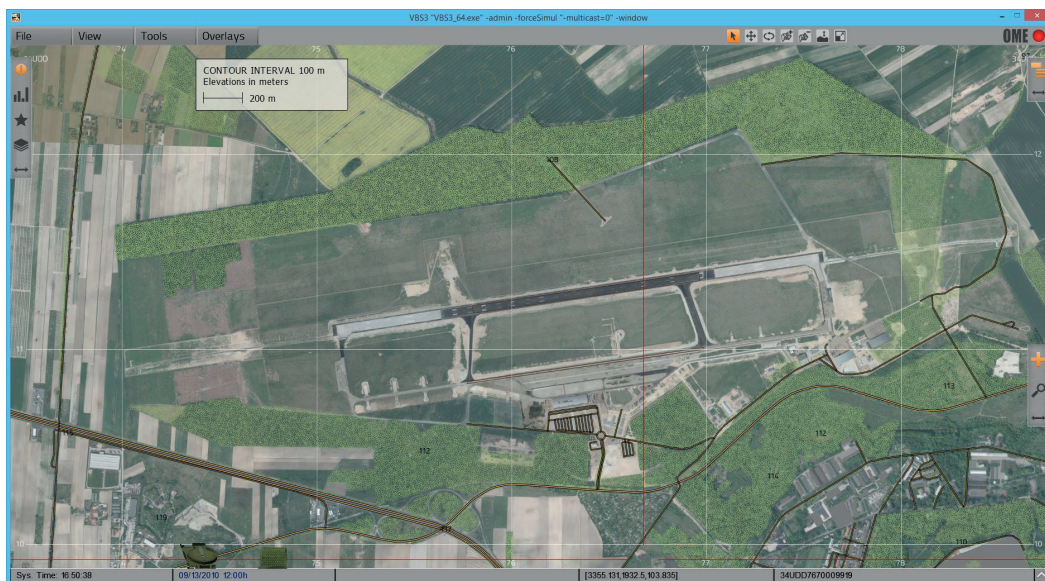
W symulacji wirtualnej oprócz modelu BSP odwzorowanie musi być również jego otoczenie oraz sytuacja, w której ma być realizowane ćwiczenie. Aby uruchomić określone ćwiczenie, wymagane jest przygotowanie:

- mapy wirtualnej z odwzorowaniem obszaru działań,
- urządzeń sterujących do BSP,
- osoby, która w symulacji wirtualnej odzwierciedla działania ćwiczącego.

W dalszej części przedstawiony jest przykładowy scenariusz, który umożliwia prowadzenie działań z wykorzystaniem



Ryc. 5. Odwzorowanie nagrzewania części napędowych BSP [15]
 Fig. 5. Heat mapping of the UAV drive [15]



Ryc. 6. Mapa wirtualna (widok 2D) okolic terminala lotniczego w Modlinie [17]
 Fig. 6. Virtual Map (2D view) of the Modlin air terminal surrounding environment [17]

niem BSP w obrębie terminalna lotniczego w Modlinie. Rycina 6 oraz rycina 7 przedstawiają mapę wirtualną wykonaną w symulatorze VBS3 okolic terminala lotniczego w Modlinie. Z wykorzystaniem takiej mapy można prowadzić różnego typu ćwiczenia związane z prowadzeniem działań z zakresu bezpieczeństwa związanego z funkcjonowaniem terminala lotniczego.

Przykładowy scenariusz zawiera osobę ćwiczącą, stację sterującą oraz BSP. Rycina 8 przedstawia zobrazowanie 3D przykładowego scenariusza w symulatorze VBS3 do prowadzenia ćwiczeń w zakresie sterowania parametrami lotu oraz obserwacji terenu z wykorzystaniem kamery zamontowanej na BSP.

Najważniejszym elementem szkolenia z wykorzystaniem BSP jest możliwość sterowania trasą lotu drona oraz obserwacji otoczenia z wykorzystaniem kamery. W momencie uruchomienia scenariusza na ekranie szkolonego pojawia się widok z kamery (ryc. 9), a komputer staje się stacją sterującą BSP. Z wykorzystaniem klawiatury operator (ćwiczący) może wydawać polecenia dronowi.

Po wystartowaniu operator może sterować zarówno trasą lotu, jak i kierunkiem patrzenia kamery. Rycina 10 przedstawia przykładowe zobrazowanie z kamery w trybie wolnej obserwacji (ręczne sterowanie kamerą) oraz tryb pracy z zablokowanym punktem obserwacji (automatyczne śledzenie wskazanego punktu).



Ryc. 7. Mapa wirtualna (widok 3D) okolic terminala lotniczego w Modlinie [17]
Fig. 7. Virtual Map (3D view) of the Modlin air terminal surrounding environment [17]



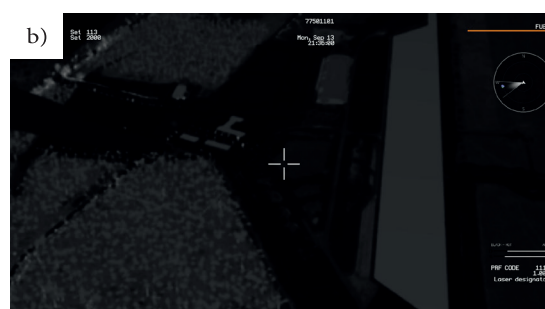
Ryc. 8. Podstawowy scenariusz do ćwiczeń w zakresie wykorzystania BSP [17]
Fig. 8. Basic scenario for training in the use of UAV [17]



Ryc. 9. Widok z kamery bsp na lądowisku [17]
 Fig. 9. A view from the drone camera on land [17]



Ryc. 10. Widok z kamery BSP w trakcie lotu [17]
 Fig. 10. A view from the UAV camera in flight [17]



Ryc. 11. Widok z kamery termalnej BSP [17]
 Fig. 11. A view from a UAV thermal camera [17]

Symulator odzwierciedla także widok z wykorzystaniem kamery termalnej, która bardzo często montowana jest w BSP. Rycina 11 przedstawia widok z kamery termalnej działającej w trybach ciepła biel i ciepła czerni.

5. Podsumowanie

Zastosowanie symulatorów wirtualnych do szkolenia operatorów BSP stanowi alternatywę dla kosztownych i obciążonych dużym ryzykiem ćwiczeń na rzeczywistym sprzęcie.

Symulatory wirtualne pozwalają na prowadzenie szkoleń operatorów BSP we wszystkich dopuszczalnych przepisami Urzędu Lotnictwa Cywilnego zakresach takich jak operacje w zasięgu wzroku (VLOS) oraz poza zasięgiem wzroku

(BVLOS) z wykorzystaniem bezałogowych statków powietrznych cięższych niż 25 kg.

Zastosowanie różnorodnych scenariuszy zaimplementowanych w środowisku symulacji wirtualnej umożliwia przeprowadzenie szerokiego zakresu ćwiczeń w tym takich, których ze względów bezpieczeństwa nie przeprowadza się w rzeczywistych warunkach.

Ze względu na zaimplementowane właściwości środowiska symulacyjnego istnieje możliwość integracji prowadzonych ćwiczeń. W odpowiednio wyposażonej sali szkoleniowej symulator stanowiska operatora BSP może być elementem szerszego ćwiczenia, w którym uczestniczą inne osoby.

Symulatory wirtualne w systemach szkoleniowych znajdują szczególne zastosowanie w ramach zagadnień związa-

nych z bezpieczeństwem i obronnością. Stosowanie rozwiązań zaprezentowanych w niniejszym opracowaniu umożliwi szkolenie zarówno operatorów BSP, jak i zastosowanie BSP (jednego lub wielu) do pozyskiwania informacji stanowiących podstawę podejmowania decyzji. Przykładami takich ćwiczeń są rozpoznania prowadzone przez jednostki wojskowe lub cywilne realizowane w ramach etatowych zadań.

Literatura

- [1] Portal internetowy bezzalogowce.pl, <http://bezzalogowce.pl> [dostęp: 28.03.2015].
- [2] Carichenko S.G., *Ekstramal'naya robototekhnika v mchs rossiii – zadachi i perspektivy*, BiTP Vol. 28 Issue 4, 2012, pp. 97-105.
- [3] Bezzalogowe statki powietrzne w Polsce. Raport o aktualnym stanie prawnym odnoszącym się do bezzalogowych statków powietrznych (Raport otwarcia), Urząd Lotnictwa Cywilnego, Zespół do spraw bezzalogowych statków powietrznych, Warszawa 2013.
- [4] *Eksperyment – dron dla Straży Pożarnej* [dok. elektr.] <http://bezzalogowce.pl/eksperyment-dron-dla-strazy-pozarnej/> [dostęp: 28.03.2015].
- [5] Tuśnio N., Krzysztofik I., Tuśnio J., *Zastosowanie bezzalogowych statków powietrznych jako elementów mobilnego systemu monitorowania zagrożeń pożarowych*, „Problemy Mechatroniki : uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa” Vol. 5 Issue 2 (16), 2014, 101-114.
- [6] Strona główna Państwowej Straży Pożarnej, <http://www.straz.gov> [dostęp: 18.12.2014].
- [7] Kaczmarczyk A., Kacprzak M., Masłowski A., *Wielopoziomowy trening symulacyjny w szkoleniu operatorów urządzeń. Zastosowanie do szkolenia operatorów robotów mobilnych*, „Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania” Vol. 50 Issue 11, 92-96.
- [8] Roguski J., Wantoch-Rekowski R., Szumiec K., *Zastosowanie symulacji wirtualnej w zakresie szkolenia operatorów bezzalogowych platform lądowych wykorzystywanych do działań ratowniczo-gaśniczych*, BiTP Vol. 36 Issue 4, 2014, pp. 113-123.
- [9] Wantoch-Rekowski R. (red.), *Programowalne środowisko symulacji wirtualnej VBS2*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [10] Roguski J., Wantoch-Rekowski R., Koszela J., Majka A., *Koncepcja symulatora do szkolenia kierowców wozów bojowych PSP w zakresie zadań realizowanych w ramach krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego*, BiTP Vol. 28 Issue 4 2012, pp. 71-81.
- [11] Wantoch-Rekowski R., Koszela J., *Zastosowania symulatorów do szkolenia w zakresie sytuacji kryzysowych*, BiTP Vol. 29 Issue 1, 2013, pp. 113-120.
- [12] Koszela J., Drozdowski T., Wantoch-Rekowski R., *Przygotowanie danych terenowych na potrzeby symulacji wielorozdzielczej „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe”* Vol. 31 Issue 3, 2012, 109-118.
- [13] Stopniak M., Wantoch-Rekowski R., *Rozwój środowiska symulacji wirtualnej VBS3 „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe”* Vol. 34 Issue 1, 2014, 149-154.
- [14] Koszela J., Wróblewski P., Szymańska A., Wantoch-Rekowski R., *Projekt i implementacja mechanizmów sztucznej inteligencji w środowisku symulacyjnym VBS2 „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe”*, Vol. 31 Issue 3, 2012, 119-132.
- [15] Serwis internetowy <http://www.vbs3.com>.
- [16] Raport końcowy projektu rozwojowego Nr O ROB 000/ID 1/3 pt. „Opracowanie nowoczesnych stanowisk szkoleniowych zwiększających skuteczność działań ratowników KSRG” finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2011-2013.
- [17] Koszela J., Szymczyk M., Wantoch-Rekowski R., *Raport okresowy zadania VI.9 Opracowanie modeli zachowań osób, jednostek oraz sprzętu Straży Granicznej na potrzeby środowiska symulacji wysokiej rozdzielczości. Projekt rozwojowy nr umowy DOBR/0023/R/ID3/2013/03 pt. „Wirtualny system doskonalenia taktyki ochrony Granicy Państwowej oraz kontroli ruchu granicznego”* finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2012-2015.
- [18] Wantoch-Rekowski R., Koszela J., *Wstępne wymagania dotyczące oprogramowania symulacyjnego poszczególnych stanowisk do demonstratora symulatora pojazdu szynowego, opracowanie w ramach programu DEMONSTRATOR+ nr umowy UOD-DEM-1-501/001 pt. „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający efektywność i bezpieczeństwo ich działania”* finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2014-2016.
- [19] Wantoch-Rekowski R., Koszela J., *Analiza dostępnych technologii i rozwiązań systemowych w obszarze symulacji wirtualnej zdarzeń katastrofy budowlanej, opracowanie w ramach projektu rozwojowego nr umowy DOB-BIO6/03/48/2014 pt. „Innowacyjne rozwiązania metod stabilizacji konstrukcji budowlanych i technologicznych w warunkach działań ratowniczych podczas likwidacji skutków katastrofy budowlanej”* finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2014-2017.
- [20] Wantoch-Rekowski R. (red.), *Technologie projektowania trenerów i symulatorów w programowalnym środowisku symulacji wirtualnej VBS3*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.

* * *

dr inż. Jacek Roguski – adiunkt w Biurze Projektów i Obsługi Badań CNBOP-PIB. Zajmuje się od strony naukowej i praktycznej zagadnieniami ochrony osobistych oraz problemami eksploatacji urządzeń i systemów technicznych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii oraz wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych.

dr inż. Roman Wantoch-Rekowski – od roku 1992 pracownik naukowo-dydaktyczny Wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej. Członek Zespołu Badawczego Modelowania, Symulacji i Informatycznego Wspomagania Decyzji w Sytuacjach Konfliktowych i Kryzysowych. Współautor systemów symulacyjnych wdrożonych w Siłach Zbrojnych RP. Autor lub współautor 10 monografii, 26 rozdziałów w monografiach, ponad 30 referatów na konferencjach krajowych oraz ponad 40 na konferencjach zagranicznych. Specjalista w zakresie metod sztucznej inteligencji oraz zastosowania zaawansowanych systemów symulacyjnych do ćwiczeń wspomaganych komputerowo.

mgr inż. Maciej Błogowski – zastępca kierownika w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwpożarowej CNBOP-PIB. Specjalizuje się w zagadnieniach badania ochrony osobistych poddanych działaniu promieniowania cieplnego.

